НАУКА НА ПАЛЬЦАХ

Андрей Шляхов

БИОЛОГИЯ

ДЛЯ ТЕХ, КТО ХОЧЕТ ПОНЯТЬ И ПРОСТИТЬ САМКУ БОГОМОЛА

Чем живое отличается от неживого?

Почему я непохож на папу?

Неужели мы правда состоим из воды?

V

SHOUT
SHARE
IT

Annotation

Биология – это наука о жизни, но об этом все знают, как знают и о том, что биология считается самой важной из наук, поскольку в числе прочих живых организмов она изучает и нас с вами. Конфуций сказал бы по этому поводу: «благородный человек изучает науку, которая изучает его самого, а ничтожный человек ею пренебрегает». И был бы тысячу раз прав. У биологии очень необычная история. С одной стороны, знания о живой природе человечество начало накапливать с момента своего появления. Первые люди уже разбирались в ботанике и зоологии – они знали, какие растения съедобны, а какие нет, и изучали повадки животных для того, чтобы на них охотиться. С другой стороны, в отдельную науку биология выделилась только в начале XIX века, когда ученые наконец-то обратили внимание на то, что у всего живого есть нечто общее, ряд общих свойств и признаков. О том, чем отличает живое от неживого, о том, как появилась жизнь и многом другом расскажет эта книга.

- Андрей Шляхов
  -
  -
  - Предисловие
  - Глава первая. Кипит повсюду жизнь
  - Глава вторая. Клетка и ее антагонисты
  - Глава третья. Откуда что взялось или теории происхождения жизни на Земле
  - Глава четвертая. Жизнь и размножение клеток
  - Глава пятая. Биосистемы
  - Глава шестая. Каталог строительных материалов или молекулярно-генетический уровень организации
  - Глава седьмая. Обмен веществ и энергии
  - Глава восьмая. Организменный уровень организации
  - Глава девятая. Популяционно-видовой уровень организации
  - Глава десятая. Эволюция, как она есть
  - Глава одиннадцатая. Гипотеза Черной Королевы[73]
  - Глава двенадцатая. Монах, который выращивал горох
  - Глава тринадцатая. Крекс! Фекс! Пекс! Мутабор!
  - Глава четырнадцатая. Генетика пола и сцепленное с полом наследование
  - Глава пятнадцатая. Половой отбор
  - Глава шестнадцатая. Селекция и генная инженерия

- Послесловие
- notes
  - 1
  - 2
  - 3
  - 4
  - 5
  - 6
  - 7
  - 8
  - 9
  - 10
  - 11
  - 12
  - 13
  - 14
  - 15
  - 16
  - 17
  - 18
  - 19
  - 20
  - 21
  - 22
  - 23
  - 24
  - 25
  - 26
  - 27
  - 28
  - 29
  - 30
  - 31
  - 32
  - 33
  - 34
  - 35
  - 36
  - 37
  - 38
  - 39
  - 40
  - 41
  - 42

- ○ 43
- ○ 44
- ○ 45
- ○ 46
- ○ 47
- ○ 48
- ○ 49
- ○ 50
- ○ 51
- ○ 52
- ○ 53
- ○ 54
- ○ 55
- ○ 56
- ○ 57
- ○ 58
- ○ 59
- ○ 60
- ○ 61
- ○ 62
- ○ 63
- ○ 64
- ○ 65
- ○ 66
- ○ 67
- ○ 68
- ○ 69
- ○ 70
- ○ 71
- ○ 72
- ○ 73
- ○ 74
- ○ 75
- ○ 76
- ○ 77
- ○ 78
- ○ 79
- ○ 80
- ○ 81
- ○ 82
- ○ 83
- ○ 84
- ○ 85
- ○ 86

- ○ 87
- ○ 88
- ○ 89
- ○ 90
- ○ 91
- ○ 92
- ○ 93
- ○ 94
- ○ 95
- ○ 96
- ○ 97
- ○ 98
- ○ 99

Андрей Шляхов
Биология для тех, кто хочет понять и простить самку богомола

© «Издательство АСТ», 2020

* * *

«Биология не похожа на физику. Чем больше мы узнаем, тем становится очевиднее, что одного объяснения, до которого нужно докопаться, не будет»

Стив Джонс, британский ученый.

Предисловие

По-хорошему надо бы было начать с того, что биология – это наука о жизни, но об этом все знают, как знают и о том, что биология считается самой важной из наук, поскольку в числе прочих живых организмов она изучает и нас с вами. Конфуций сказал бы по этому поводу: «благородный человек изучает науку, которая изучает его самого, а ничтожный человек ею пренебрегает». И был бы тысячу раз прав.

У биологии очень необычная история. С одной стороны, знания о живой природе человечество начало накапливать с момента своего появления. Первые люди уже разбирались в ботанике и зоологии – они знали, какие растения съедобны, а какие нет, и изучали повадки животных для того, чтобы на них охотиться. С другой стороны, в отдельную науку биология выделилась только в начале XIX века, когда ученые наконец-то обратили внимание на то, что у всего живого есть нечто общее, ряд общих свойств и признаков. Немецкие ученые Фридрих Бурдах и Готфрид Тревиранус, а также француз Жан-Батист Ламарк независимо друг от друга в 1800 – 1802 годах стали использовать термин «биология». Если вас удивило, что одно и то же слово придумали три разных человека, то ничего удивительного в этом нет. Названия наук образуются по единому стандарту – к греческому или латинскому названию предмета, который изучает данная наука, добавляется окончание «-логия», образованного от греческого слова «логос», которое переводится как «учение» или «наука». Так что у Бурдаха, Тревирануса и Ламарка просто не могло быть другого варианта, кроме как добавить к «логосу» греческое слово «биос», означающее «жизнь» (греческие названия традиционно были предпочтительнее латинских). Вот и получилась «биология», которая, едва успев родиться, распалась на несколько направлений, которые, в свою очередь разделились на более узкие науки. Современную биологию можно сравнить с ветвистым деревом, ствол которого образует общая биология, основа основ и начало начал. Ее-то мы с вами и будем изучать, а по ходу дела и с кое-какими «ветвями» поближе познакомимся. Разумеется, эта книга не сделает вас профессиональными биологами, но прочитав ее, вы начнете разбираться в биологии, лучше узнаете окружающий мир и собственный организм.

Вот, пожалуй, и все. Не будем долго рассусоливать, лучше займемся делом.

Глава первая. Кипит повсюду жизнь

«Меняя каждый миг свой образ прихотливый,
Капризна, как дитя, и призрачна, как дым,
Кипит повсюду жизнь в тревоге суетливой,
Великое смешав с ничтожным и смешным».

Так начинается стихотворение Семена Надсона «Жизнь». Поэтам легко описывать что-либо – бери слова, да складывай их в рифму. Можно сказать, что «жизнь – это серафим и пьяная вакханка» или что «жизнь – это океан и тесная тюрьма» (это все из того же стихотворения). А вот попробуйте-ка вы дать научное определение жизни, такое, чтобы оно подходило ко всему живому и отражало основные свойства определяемого предмета. Только, пожалуйста, отнеситесь к задаче серьезно. Никаких «я люблю – и, значит, я живу» или «есть только миг между прошлым и будущим, именно он называется жизнь». Нужны не красивые фразы, а научное определение, при помощи которого можно было бы отличать живое от неживого.

Те, кому захотелось придумать определение, сейчас делают паузу для размышления, а те, кому ничего придумывать не хочется, могут читать дальше.

Великий греческий ученый Аристотель, живший в IV веке до нашей эры, давал называл жизнью «всякое питание, рост и упадок тела, имеющие основания в нем самом». Иначе говоря, живым Аристотель считал то, что питалось, росло и умирало. Как вам такое определение? Надо сказать, что оно довольно неплохое, особенно для того времени.

Предупреждение – если вы надеетесь прочесть в конце этой главы Самое Правильное Определение Жизни, то ваши надежды совершенно напрасны. Самого Правильного Определения нет до сих пор. Возможно, что именно вы его только что придумали, но миру пока еще об этом неизвестно. Существует более сотни научных определений жизни, но ни одно из них не признано лучшим.

Самое лаконичное звучит так: «жизнь – это самовоспроизведение». В более расширенном варианте: «жизнь – это самовоспроизведение с изменениями». Но при подобном

понимании жизни можно спокойно причислять к живым существам любую самовоспроизводящуюся компьютерную программу. А что такого? Под определение ведь подходит.

Официальное определение Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства США рассматривает жизнь как «самоподдерживающуюся химическую систему, способную к дарвиновской эволюции».

Зачем космонавтам нужно официальное определение понятия «жизнь»? Для поиска этой самой жизни во Вселенной. Если руководство ставит задачу поиска, то оно должно четко сказать, что именно нужно найти. Иначе получится как в сказке – поди туда, не знаю куда, принеси то, не знаю что.

Определение «жизнь есть активная форма существования материи» лучше вообще вычеркнуть из научных анналов и молескинов, потому что «активная форма существования» – понятие крайне расплывчатое. Это все равно, что сказать: «живые организмы в корне отличаются от неживых сущностей, потому что в них содержится некий нематериальный элемент, и ими управляют иные принципы, нежели в неживых вещах». Такое определение жизни любили использовать виталисты, сторонники устаревшего учения, согласно которому жизненными процессами, протекающими в живых организмах, управляет некая нематериальная и непостижимая сверхъестественная сила, а не законы природы.

В Советском Союзе было популярно определение жизни, данное одним из основоположников и классиков марксизма Фридрихом Энгельсом: «жизнь есть способ существования белковых тел, существенным моментом которого является постоянный обмен веществ с окружающей их внешней природой». Но сейчас это определение считается неверным, поскольку теоретически жизнь может быть не только белковой. Существует такой раздел биологии, как ксенобиология (в переводе с греческого – «наука, изучающая чужаков»). Ксенобиологи занимаются созданием и изучением не встречающихся в природе биологических систем и форм жизни, иначе говоря – творят научную биологическую фантастику. Не забавы, а научного интереса ради.

Советский биохимик Владимир Энгельгардт считал главным отличием живого от неживого способность создавать порядок из хаотичного движения молекул. Такое определение позволяет считать живым лед. А почему бы и нет? Ведь при переходе в твердое агрегатное состояние под воздействием низких температур (проще говоря – при замерзании), хаотично движущиеся молекулы воды выстраиваются в определенном

порядке, образуя кристаллическую решетку. Порядок из хаоса получился? Следовательно, лед живой! Можно возразить, что данное упорядочение произошло под внешним воздействием (снижение температуры окружающей среды), но про воздействие в определении ничего на сказано, речь идет только о способности к упорядочиванию.

Известный физиолог Александр Самойлов определял жизнь как замкнутый круг рефлекторной деятельности. А французский физиолог Мари Франсуа Биша рассматривал жизнь как совокупность явлений, сопротивляющихся смерти. По сути верно, поскольку смерть представляет собой противоположность жизни, но очень уж неопределенно. Опять же, сразу напрашивается вопрос – а что такое смерть? Правильное определение не должно порождать вопросов.

Хотите чего-то особенного? Вот вам определение академика Валентина Пармона: «Жизнь – это фазово-обособленная форма существования функционирующих автокатализаторов, способных к химическим мутациям и претерпевших достаточно длительную эволюцию за счет естественного отбора». С какой попытки вы сможете произнести эту фразу без запинки?

И на десерт – определение одного из основоположников кибернетики Алексея Ляпунова, по мнению которого жизнь представляет собой «высокоустойчивое состояние вещества, использующее для выработки сохраняющих реакций информацию, кодируемую состояниями отдельных молекул».

Если же попытаться дать наиболее полное и внятное определение жизни и выражаться при этом понятным языком, то получится примерно такое: «жизнь – это форма существования материи, для которой характерны организация (упорядоченное строение), обмен веществами и энергией с окружающей средой, способность к развитию и воспроизведению, способность к хранению наследственной информации и передаче ее потомству, а также способность реагировать на раздражители». Это определение не столь поэтично, как «жизнь – это океан и тесная тюрьма», но сущность определяемого предмета отражает точно. Но не совсем полно. Для получения полного представления о том, что такое жизнь, нужно познакомиться с основными свойствами живых организмов. У всех живых организмов, от слона до самой маленькой улитки, от вымерших гигантов-диплодоков до малюсеньких бактерий, от человека до амебы, есть «золотая дюжина» – двенадцать общих свойств, присущих любому живому существу. Если уж говорить начистоту, то свойств этих четырнадцать, причем одно из них спорное и признается не всем научным миром, но при этом шесть свойств рассматриваются

попарно, а спорное свойство таково, что его просто рука не поднимается вычеркнуть из перечня, да и «золотая дюжина» звучит гораздо лучше «золотой пятнадцатки», так что пусть будет дюжина, договорились?

Свойство первое – единство химического состава. В состав всех живых организмов входят белки, нуклеиновые кислоты,[1] жиры, углеводы и много-много воды. Среди химических элементов в живых организмах преобладают углерод, кислород, водород и азот, на долю которых приходится примерно 98 % от общего состава. С подачи Фридриха Энгельса жизнь на нашей планете называют «белковой», но правильнее будет называть ее углеродной, потому что и белки, и нуклеиновые кислоты, и жиры, и углеводы имеют углеродную основу.

Почему именно углерод стал основой жизни? Что в нем такого особенного?

Дело в том, что атомы углерода обладают способностью многократно соединяться друг с другом, образуя длиннющие цепочки.

Атом углерода имеет четыре свободных электрона, которые используются для образования химических связей с другими атомами. Эти связи можно условно сравнить с руками. Представьте четырехрукий атом углерода. Двумя руками он держится за соседние атомы в углеродной цепочке, а две свободные руки (или три, если атом в цепочке крайний) использует для связи с другими атомами, которые могут давать начало другим углеродным цепочкам или входить в состав каких-либо атомных групп. Цепочки могут замыкаться в кольца, могут ветвиться, могут растягиваться на невероятную длину… Счет атомам в одной молекуле с углеродным скелетом может идти не на десятки или сотни тысяч и даже не на миллионы, а на миллиарды! Способность углерода образовывать длинные цепочки порождает огромный класс соединений на основе углерода, огромный настолько, что для его изучения создан особый раздел химической науки – органическая химия. Ни один другой химический элемент такой замечательной способностью не обладает. Ученые не раз высказывали предположения о возможности иной, неуглеродной формы жизни, но пока еще никто не разработал теорию, описывающую возможность создания всего многообразия соединений, необходимых для существования жизни, на основе кремниевого или, скажем, кислородного «скелета».

Ну а если говорить точнее, то земная форма жизни – водно-углеродная, потому что вода выступает в роли растворителя для всех без исключения живых организмов. В теле взрослого

человека в среднем 60 % приходится на долю воды,[2] 34 % – на долю органических веществ и на 6 % – на долю веществ неорганических.

Свойство второе – единство структурной организации. Оно выражается в том, что единицей строения любого живого организма является клетка. Некоторые организмы состоят всего из одной клетки, другие – из множества клеток, но никаких других «кирпичиков», кроме клеток, для строения организмов в природе не существует. Без клетки нет жизни.

Правда, в наше время, это свойство оспаривается теми учеными, которые считают вирусы особой, неклеточной формой жизни. Другие ученые, не отрицающие клеточной организации всего живого, считают вирусы не живыми организмами, а комплексами органических молекул, способными взаимодействовать с живыми организмами. К единому мнению относительно вирусов наука пока не пришла. Мы поговорим о вирусах немного позже, когда ознакомимся со строением клетки. Вы сможете сравнить клетку с вирусом и определиться, на чью сторону вы станете.

Свойство третье – дискретность (прерывность) и целостность. Дискретность живого организма выражается том, что он состоит из отдельных изолированных частей, которые взаимодействуют друг с другом. Отдельные части организма объединяются в единую систему, свойства которой не являются простой совокупностью свойств составляющих ее частей, а представляют собой нечто особое. В этом объединении проявляется целостность живого организма. Кстати говоря, определение организма звучит следующим образом: это живая биологическая целостная система, обладающая способностью к самовоспроизведению, саморазвитию и самоуправлению.

Важно понимать, что целостность организма обеспечивается не только структурным соединением всех его частей, но и наличием взаимосвязи между этими частями. Без такой взаимосвязи нельзя говорить о едином организме. Связь осуществляется при помощи жидкостей, циркулирующих в сосудах, полостях и пространствах организма, а также при помощи нервной системы. У простейших одноклеточных организмов имеется только один вид связи – посредством жидкостей, а нервной системы у них нет. Наличие нервной системы является «привилегией» многоклеточных организмов, которые устроены настолько сложно, что не могут обходиться одной лишь жидкостной, или если по-научному, то гуморальной[3] связью.

Свойство четвертое – способность к саморегуляции.

Саморегуляция позволяет живым организмам сохранять относительное постоянство химического состава и поддерживать интенсивность течения физиологических процессов на нужном уровне. Любой живой организм управляет собой самостоятельно, без чьей-то посторонней помощи, он полностью самодостаточен.

Свойство пятое – наличие обмена веществ и энергии. Этот обмен состоит из двух взаимосвязанных процессов. Первый процесс называется пластическим обменом или ассимиляцией. Суть его заключается в выработке органических веществ с использованием внешних источников энергии – солнечного света у растений или пищи у животных. Второй процесс – это энергетический обмен или диссимиляция, распад органических веществ с выделением нужной организму энергии. Переваривая пищу, организм получает энергию и «строительный материал» для создания нужных ему веществ.

Мы часто употребляем словосочетание «обмен веществ», но правильнее говорить об обмене веществ и энергии, потому что одно неразрывно связано с другим – для выработки веществ нужна энергия, которая, в свою очередь, добывается при расщеплении веществ.

Смотрите, какой получается «парадокс». Известно, что при образовании химической связи между атомами происходит выделение определенного количества энергии, а для того, чтобы эту связь разорвать, нужно столько же энергии затратить. Но, в то же время, мы знаем, что белки, жиры и углеводы выделяют энергию при распаде. При распаде, когда рвутся химические связи, а не при образовании крупных молекул из мелких!

Вот как это прикажете понимать? По логике, процесс распада молекул питательных веществ должно отбирать энергию у организма, а не давать ее. Связи-то рвутся… Или химики что-то напутали и разрыв химических связей на самом деле протекает с выделением энергии?

Нет, никто ничего не напутал. Энергия действительно высвобождается в процессе образования химических связей и поглощается при их разрыве. Но при этом расщепление молекул жиров, белков и углеводов, осуществляемое в процессе пищеварения, дает организму энергию, а не отбирает ее. И слово «парадокс», если вы обратили внимание, взято в кавычки. Дело в том, что молекула любого вещества обладает определенной внутренней энергией. Когда молекула распадается на несколько частей, на более мелкие молекулы, суммарная внутренняя энергия этих частей не обязательно будет равняться внутренней энергии исходной молекулы. Суммарная энергия может оказаться меньше и тогда часть энергии выделится в виде тепла в

окружающую среду, или же больше, и тогда во время реакции расщепления вещества произойдет поглощение тепла из окружающей среды. При превращениях одних веществ в другие энергия может выделяться или поглощаться и это не столько зависит от того, образуются или разрываются химические связи, сколько от «энергоемкости» исходных и конечных продуктов химической реакции. Дело не в химических связях, а во внутренней энергии молекул исходных и конечных продуктов химической реакции!

Почему дерево или бумагу, керосин или бензин, или какой-то горючий газ нужно поджигать, поскольку без такого постороннего вмешательства горение не начнется? Потому что для расщепления сложных веществ на более простые при участии кислорода воздуха (а именно это и происходит в процессе горения) нужна энергия. Без нее химические связи разрываться не начнут. Дерево, к слову будь сказано, можно не поджигать, а нагреть посредством трения. Но молекулы простых веществ, образующихся в процессе горения, имеют гораздо меньшую суммарную энергию, чем молекулы горючих веществ. Излишек энергии выделяется в окружающую среду в виде тепла и света. Малая толика его уходит на продолжающийся разрыв химических связей, но на общую энергетическую характеристику процесса эти затраты существенно не влияют, ведь в результате распада молекул горючих веществ выделяется гораздо больше энергии, чем тратится на разрыв связей. Примерно то же самое происходит при расщеплении молекул белков, жиров и углеводов в организме.

Свойство шестое – *открытость* вытекает из пятого. Живые организмы представляют собой открытые системы, постоянно обменивающиеся веществами и энергией с окружающей средой. В полной изоляции от окружающей среды живой организм существовать не может. И если кто-то из читателей сейчас подумал о криоконсервации – способе глубокого замораживания в жидком азоте при температуре -196˚С, то имейте в виду, что при таком замораживании, являющимся примером полной изоляции от окружающей среды, могут сохранять свои биологические функции лишь половые клетки, клетки крови и эмбрионы, находящиеся на ранней стадии развития (возрастом до 1 недели). Недавно был проведен успешный опыт по восстановлению функций сердца лягушки после криоконсервации. Но на сегодняшний день, после криоконсервации невозможно вернуть к жизни отдельные органы теплокровных животных, не говоря уже о целых организмах. Известно около трехсот случаев криоконсервации людей, но все они были «заморожены» только

после констатации смерти мозга. Все эти люди страдали какими-то неизлечимыми болезнями и смысл криоконсервации их тел состоит в надежде на технологии будущего – вдруг когда-то станет возможным восстановить жизнедеятельность организма после «заморозки» и излечить болезни, считающиеся неизлечимыми в наше время.

Свойство седьмое – раздражимость. Не путайте раздражимость с раздражительностью, это совершенно разные понятия. Под раздражимостью понимают способность организма воспринимать раздражения – внешние и внутренние воздействия – и отвечать на них определенным образом. Это свойство можно было бы поставить в самом начале перечня, потому что его наличие является классическим отличительным критерием живого. Все, что не обладает раздражимостью, живым считаться не может. Раздражимость лежит в основе приспособления организмов к изменяющимся условиям окружающей среды, например, растения поворачивают листья к свету, а человек отдергивает руку от раскаленного предмета.

Свойство восьмое – движение. Этой способностью в той или иной степени обладают все живые организмы. Даже растения, которые считаются неподвижными, способны поворачивать листья к свету, а у неподвижных одноклеточных микроорганизмов, например – у дрожжей, может двигаться клеточная оболочка, при размножении она выпячивается и формирует новую клетку.

Свойство девятое – ритмичность. Деятельность всех живых организмов определяется ритмами. Ритмы бывают суточными, например – чередование периодов сна и бодрствования, и сезонными, примером которых может служить зимняя спячка у некоторых животных или же весеннее цветение растений.

Свойство десятое – размножение, способность организмов воспроизводить себе подобных на основе информации, заложенной в определенных структурах. Размножение обеспечивает непрерывность жизни на нашей планете и преемственность поколений. Разнообразные способы размножения подразделяются на два основных типа – бесполое, являющееся более древним, и половое. В основе всех форм размножения организмов, имеющих клеточное строение, лежит деление клеток. У вирусов свой, особый способ размножения, но и он тесно связан с клетками. В следующей главе мы поговорим и об этом.

Свойство одиннадцатое – наследственность и изменчивость. Эти два качества, которые рассматриваются вместе по причине своей общности, тесно связаны с размножением.

Наследственностью называется способность организмов передавать свои признаки из поколения в поколение. Наследственность обеспечивается генетической информацией, «записанной» в молекулах вещества, называемого дезоксирибонуклеиновой кислотой или, сокращенно, ДНК. Участок молекулы ДНК, определяющий один отдельный признак, называется геном. В генах могут происходить спонтанные изменения, а еще при половом размножении могут создаваться новые комбинации генов в результате сочетания генов, полученных от отца и от матери. Эти процессы приводят к появлению новых признаков, а способность живых организмов приобретать новые признаки называется изменчивостью.

Изменчивость – основа эволюционного процесса, благодаря ей появляются новые виды живых организмов. Если бы изменчивости не было, то на нашей планете жил бы только один-единственный вид одноклеточных – потомки первой клетки-праматери, с которой началась жизнь.

Свойство двенадцатое тоже двойное-взаимосвязанное – рост и развитие. Развитие представляет собой количественные и качественные изменения в организме на протяжении его жизни, а ростом называется увеличение размеров развивающегося организма в целом и отдельных его органов в частности.

Рост может осуществляться за счет увеличения количества клеток или же за счет увеличения клеток в размерах при их неизменном количестве. Первый процесс называется гиперплазией, а второй – гипертрофией. Обратите внимание на то, что термин «гипертрофия» применяется не только к клеткам, но и органам, а гипертрофия органа может быть вызвана гиперплазией клеток, из которых этот орган состоит.

Вот и вся «золотая дюжина» свойств, характерных для живых организмов. Эти свойства неразрывны, их следует рассматривать совокупно. Нельзя оперировать отдельными свойствами, такой подход может привести к ошибкам, поскольку отдельными признаками живого могут обладать объекты неживой природы. Так, например, минеральные образования сталактиты и сталагмиты способны расти, вода в природе движется, совершая бесконечный круговорот, а приливы ритмично чередуются с отливами. Но мы же не считаем сталактиты живыми, верно?

Примите поздравления! Вы дочитали до конца первую главу и теперь можете объяснить всем желающим, что такое жизнь и какими признаками должны обладать живые организмы. Понятие жизни и ее признаков является основополагающим в биологии, потому что эта наука изучает только живые объекты. Впрочем, биологи изучают и прионы… Но об этом мы с вами поговорим в

следующей главе, которая будет посвящена клетке и ее «антагонистам».

Глава вторая. Клетка и ее антагонисты

Одной из основных биологических теорий является клеточная теория, которая рассматривает клетку как единый структурный элемент всех живых организмов. Эта теория была создана в 1839 году немецкими учеными Матиасом Шлейденом и Теодором Шванном. Первоначально она включала в себя три положения:

1. Все животные и растения состоят из клеток.
2. Растения и животные растут и развиваются путем возникновения новых клеток.
3. Клетка является самой маленькой единицей живого, а целый организм представляет собой это совокупность клеток.

Вообще-то клетки были открыты в 1665 году английским естествоиспытателем Робертом Гуком, который обнаружил упорядоченно расположенные пустоты при изучении тонких срезов коры пробкового дерева. Именно Гук и придумал название «клетка». Несколькими годами позднее итальянец Марчелло Мальпиги и англичанин Неемия Грю независимо друг от друга описали в разных органах растений «мешочки» или «пузырьки». Вывод о клеточном строении растений напрашивался сам собой, но увеличительные приборы того времени были примитивными и не давали возможности хорошо разглядеть клетки, поэтому их сочли пустотами в растительных тканях. Известный голландский натуралист и конструктор микроскопов Антони ван Левенгук,[4] рассматривавший в свои микроскопы растительные клетки, клетки крови, инфузории и бактерии, не нашел единства между ними. Мог создать клеточную теорию немецкий ученый Каспар Фридрих Вольф, опубликовавший в 1759 году трактат «Теория зарождения», но вместо вывода о том, что все живое развивается из клеток и из них же состоит, Вольф говорил о некоей первоначально однородной субстанции, в которой вследствие движения соков образуются сосуды и «пузырьки».

В 1855 году другой немецкий ученый – Рудольф Вирхов дополнил клеточную теорию четвертым и очень важным положением, согласно которому всякая клетка происходит от другой клетки. В наше время к четырем положениям добавили еще несколько, наиболее важное из которых устанавливает единое происхождение всего живого на основании клеточного строения всех живых организмов.

Надо особо оговорить, что клетка представляет собой не

только элементарную структурную и функциональную единицу строения всего живого, но и определенный (начальный) этап эволюции, ведь именно с клетки началась жизнь на нашей планеты. Самые далекие наши предки были одноклеточными.

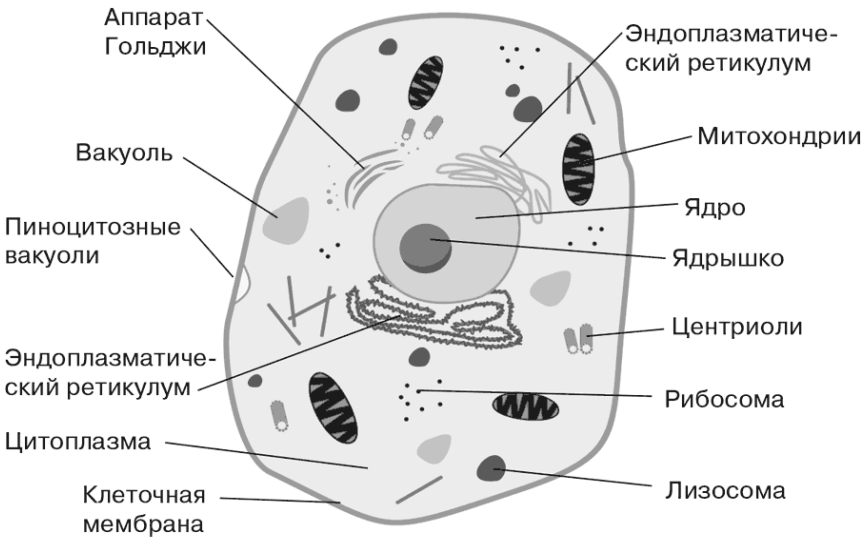


Схема строения животной клетки

У любой клетки, растительной или животной, непременно должны быть оболочка, ядерное вещество, содержащее генетическую информацию, и полужидкая цитоплазма, внутренняя среда клетки, в которой расположены органоиды или органеллы – специализированные клеточные структуры, выполняющие определенные функции, а также включения различных веществ – кристаллы солей, капельки жира, зерна крахмала.

Ядерное вещество может быть оформленным в ядро со своей оболочкой или неоформленным, свободно «плавающим» в цитоплазме. Клетки подразделяются на прокариотов, не имеющих оформленного ядра и обладающих относительно простым строением, и эукариотов, имеющих оформленное ядро и более сложное строение. В эволюционном отношении прокариоты считаются более древними, чем эукариоты. Чем проще строение организма, тем он древнее – это общее эволюционное правило.

Содержимое клетки – цитоплазму и ядро – называют протоплазмой. Протоплазма окружена оболочкой, которую называют поверхностным комплексом клетки.

Клеточная мембрана, ограничивает содержимое клетки и отделяет клетку от внешней среды. Но не надо думать, что на

этом функции клеточной мембраны исчерпываются.

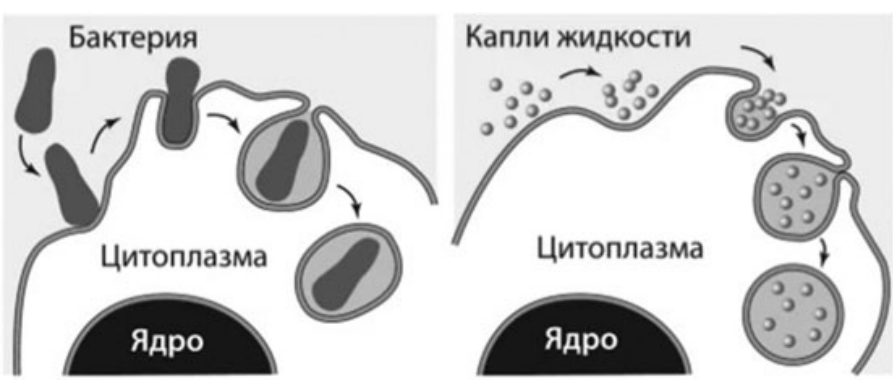
Во-первых, это «умная» оболочка, которая пропускает в клетку нужные вещества и не пропускает ненужные и вредные. По-научному это явление называется избирательной проницаемостью.

Во-вторых, мембраны связывают клетки друг с другом.

В-третьих, на мембранах находятся рецепторы – белковые молекулы, способные связываться с молекулами определенных веществ. Связываясь с рецепторами, эти вещества оказывают на клетку определенное воздействие. Существуют особые рецепторы, называемые маркерами. Они представляют собой нечто вроде «паспорта» клетки, то есть служат для распознавания, для отделения своих клеток от чужих. Таким распознаванием занимаются клетки иммунной системы, борющиеся с чужаками, внедрившимися в организм. Но иногда в работе системы «свой-чужой» происходит сбой и тогда иммунные клетки принимают клетки организма за чужеродные и начинают с ними бороться, что приводит к развитию аутоимунных заболеваний («аутоиммунный» можно перевести как «самоиммунный»).

В-четвертых, посредством перераспределения ионов[5] калия и натрия в клеточной мембране может вырабатываться электричество, может изменяться электрический потенциал поверхности клетки.

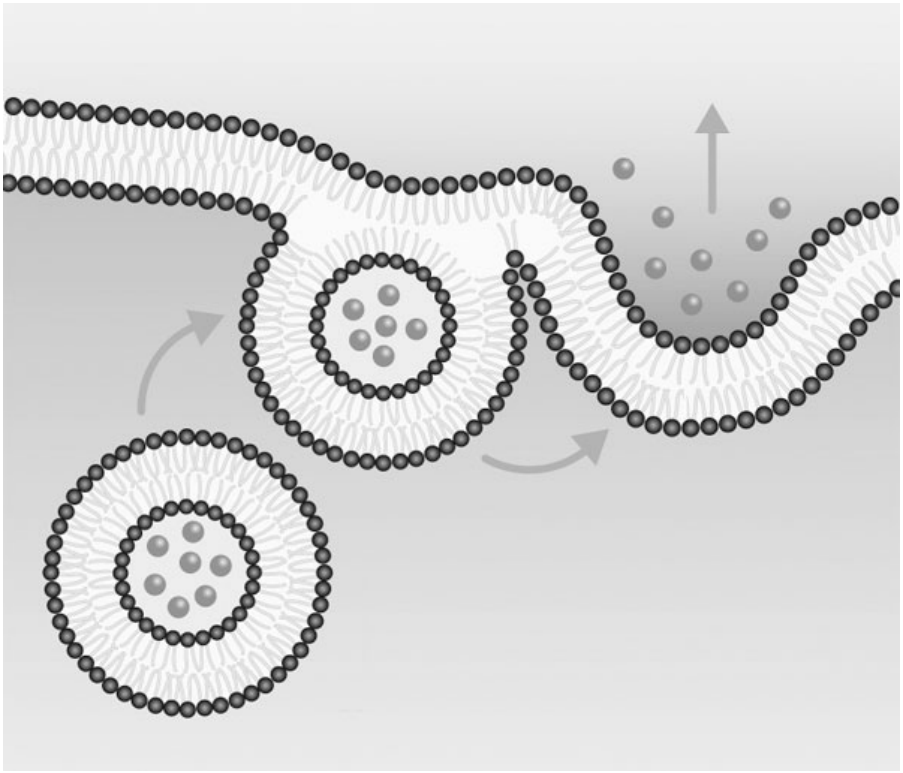
А еще клеточная мембрана участвует в процессах фагоцитоза, пиноцитоза и экзоцитоза. Фагоцитоз представляет собой поглощение целых клеток или крупных частиц, а пиноцитоз – поглощение капель жидкости. Суть обоих процессов едина – поглощаемые вещества окружаются впячивающейся клеточной мембраной с образованием полости, которая затем перемещается вглубь цитоплазмы.



Фаго и пиноцитоз

Экзоцитоз – это процесс выведения ненужных веществ за

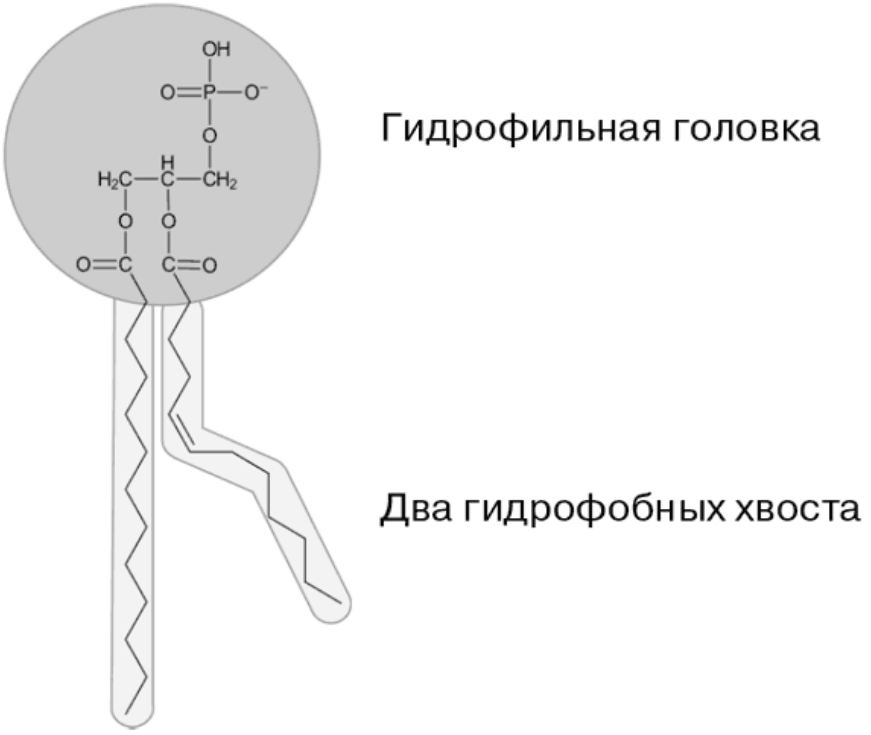
пределы клетки, обратный фагоцитозу и пиноцитозу.



Экзоцитоз

У клеток-прокариот, не имеющих оформленного ядра, клеточная мембрана является единственной мембраной, а у «ядерных» эукариот свои «персональные» мембраны также имеют клеточное ядро и органеллы.

Помните ли вы из курса химии, что такое жиры, что такое липиды и что такое фосфолипиды? Жиры – это органические вещества, образующиеся при взаимодействии трехатомного спирта глицерина и карбоновых кислот, также называемых жирными кислотами. Липиды – это более широкое понятие, включающее в себя жиры и жироподобные вещества. Молекулы большинства жироподобных веществ состоят из остатков спиртов (но не глицерина) и жирных кислот. Но есть среди жироподобных веществ и такие, в молекулах которых остатков жирных кислот нет. Тем не менее, эти вещества способны растворяться в жирах и потому относятся к липидам. А фосфолипидами называются липиды, молекулы которых содержат остатки фосфорной кислоты.



Молекулу фосфолипида можно представить в виде головки, образованной остатками спирта и фосфорной кислоты, двух «хвостов» из остатков жирных кислот. «Головка» обладает гидрофильностью («любовью к воде»), она способна взаимодействовать с молекулами воды. Речь идет не о вступлениях в химические реакции, а о взаимодействии на молекулярном уровне – молекулы воды могут тесно сближаться с гидрофильными «головками».

«Хвосты», образованные остатками жирных кислот, с молекулами воды сближаться неспособны или же, если точнее, способны в очень малой степени. Такое свойство называют гидрофобностью («боязнью воды»).

Клеточная мембрана состоит из двух фосфолипидных слоев. Гидрофильные «головки» обеих слоев обращены наружу и соприкасаются с водными растворами – межклеточной жидкостью и цитоплазмой, а гидрофобные хвосты обращены внутрь и словно бы связывают оба слоя. Жесткость мембране придает содержащийся в ней холестерин, который тоже является липидом.

Через двойной слой фосфолипидов в клетку самостоятельно, без посторонней помощи, могут проникать только жирорастворимые вещества – жиры или, к примеру, спирты. Вода

и все водорастворимые вещества, в том числе и любые ионы, сами по себе проходить через мембрану не могут, для них нужны специальные транспортные каналы. Такие каналы образуются белковыми молекулами, находящимися в толще клеточной мембраны. В оболочках, которые образованы фосфолипидами, без белков канала не устроить – простое отверстие тут же затянется подобно тому, как затянется отверстие сделанное в пленке жира на поверхности воды. Белковые молекулы могут образовывать пору или канал для прохождения водорастворимых веществ, а могут заниматься активным транспортом – захватывать нужные молекулы на одной стороне мембраны и переносить к другой стороне. Молекулы-транспортники пронизывают всю толщу клеточной мембраны, выходя обеими своими концами наружу, а вот у молекул, выполняющих рецепторную функцию, наружу выходит только один конец, а другой погружен в толщу мембраны. Эти молекулы воспринимают химические раздражения извне и передают их в виде определенных сигналов другим рецепторам (белковым молекулам), которые находятся внутри клетки. Молекулы белков-маркеров в толщу мембраны совсем не погружены, они находятся на ее наружной поверхности, которая дополнительно укреплена углеводами, а также соединениями углеводов с белками и липидами.

Сразу же под клеточной мембраной расположены белковые волокна, которые служат чем-то вроде мышц. Сокращения этих волокон вызывают движения мембраны.

После знакомства с клеточной мембраной так и хочется считать ее главным «органом» клетки. А как же иначе? Ведь это и защитный барьер, и умный фильтр, и «инструмент» для питания, и восприниматель внешних раздражений… и прочая, и прочая, и прочая. Роль мембраны трудно переоценить, но все же главным компонентом любой клетки является хранилище наследственной информации, которая «записана» в молекулах нуклеиновых кислот, получивших свое название от латинского слова «нуклеус» – ядро. Молекулы нуклеиновых кислот могут содержать остатки одного из двух сахаров – рибозы или дезоксирибозы. Разница между двумя сахарами небольшая – всего в один атом кислорода. «Дезокси-» переводится с латыни как «отсутствие атома кислорода», то есть дезоксирибоза – это рибоза без одного атома кислорода. От названия сахарного остатка образуются названия кислот – дезоксирибонуклеиновая (ДНК) и рибонуклеиновая (РНК). С химической точки зрения разница между ДНК и РНК заключается в наличии или отсутствии одного атома кислорода в сахарном остатке. Не такая уж и большая разница, верно? Но с генетической точки зрения разница между

ДНК и РНК огромна. Молекула ДНК – хранитель наследственной информации и организатор ее передачи по назначению. Да – и организатор тоже, поскольку именно в молекуле ДНК записан процесс считывания закодированной в ней информации. А молекула РНК играет вспомогательную роль – служат матрицами для синтеза белков, входят в состав ряда ферментов или сами по себе проявляют ферментативную активность, занимаются транспортом белков внутри клетки, а многих вирусов РНК играет роль ДНК, то есть является хранителем наследственной информации.[6]

Молекулы ДНК и РНК состоят из повторяющихся блоков, которые называются нуклеотидами. Четыре вида нуклеотидов (а именно столько их в молекуле ДНК и РНК) – это «буквы», которыми записывается наследственная информация. Комбинация из четырех элементов дает десять тысяч вариантов, вдобавок эти четырехэлементные комбинации комбинируются друг с другом в различных сочетаниях, что дает количество вариантов.

Молекула ДНК не просто огромная, она гигантская, число атомов в ней, как уже было сказано выше, может доходить до десяти миллиардов. Природа стремится к компактности, поэтому гигантская молекула ДНК состоит не из одной, а из двух нуклеотидных цепочек, которые закручены вокруг своей оси в спираль, образуя что-то вроде двойной пружины.

Структуры, хранящие наследственную информацию, называются хромосомами. Такое название обусловлено способностью связывать красители, используемые при приготовлении микроскопических препаратов, «Хромосома» в переводе с греческого означает «окрашенное тело».

Каждая хромосома представляет собой одну молекулу ДНК. Хромосомы, имеющие вид длинных тонких нитей, собираясь вместе, образуют ядро клетки.

Полный набор хромосом, он же диплоидный набор – это набор хромосом, присущий соматическим (не половым) клеткам. В диплоидном наборе все характерные для данного биологического вида хромосомы представлены попарно. В ядрах гамет (половых клеток) хромосом содержится вдвое меньше, чем в соматических клетках – по одной из пары. Такой набор хромосом называется одинарным или гаплоидным. Соединяясь вместе, две половые клетки (мужская и женская), образуют одну клетку с полным набором хромосом. Из этой клетки развивается новый организм. Поскольку половина хромосом получена ребенком от отца, а половина от матери, ребенок наследует признаки обоих родителей.

Запомните, пожалуйста, секретный шифр биологов. Гаплоидный набор обозначается буквой n, а диплоидный – 2n. Каждый вид в норме[7] имеет строго определенное и постоянное число хромосом, которые могут различаться по размерам и форме. Число хромосом и их морфологические особенности являются характерным признаком биологического вида.

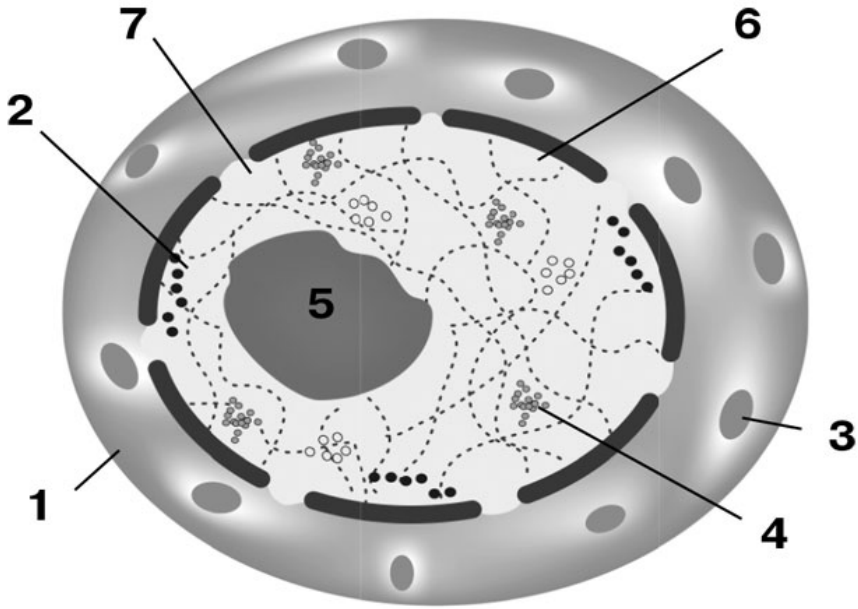
От цитоплазмы ядро отделяет ядерная оболочка, состоящая из двух фосфолипидных мембран, и в целом похожая на клеточную мембрану. Внутри ядра находится ядерный матрикс – каркасная система, служащая объединяющей основой для хромосом и, в то же время, обособляющая их друг от друга. Матрикс делает ядро похожим на шкаф, где каждый предмет лежит на своем месте, в своей ячейке.

Выгодно ли клетке иметь ядро?

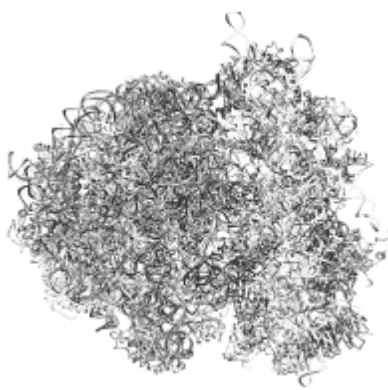
Однозначно выгодно. Упаковка в ядерный матрикс, да еще и окруженный оболочкой, защищает молекулы ДНК от случайного повреждения. Ядерные клетки делятся более сложным образом, нежели безъядерные. В результате этого сложного деления, о котором мы поговорим немного позже, каждая дочерняя клетка получает строго полный набор хромосом, без излишков и недостач. Кроме того, наличие ядра делает возможным деление с образованием половых клеток, имеющих половинное число хромосом. Без ядра половое размножение невозможно, а это очень выгодное с точки зрения эволюции качество.

Помимо хроматина в клеточном ядре содержатся ядрышки – небольшие образования, не имеющие собственной оболочки. В ядрышках синтезируются органеллы, которые называются рибосомами.

Рибосомы – это сферические образования, не имеющие своей отдельной мембраны. По сути рибосомы являются скоплением молекул РНК, синтезирующих белки из аминокислот, в соответствии с информацией, записанной в РНК-матрице. Молекула ДНК – слишком громоздкая матрица, гораздо удобнее для синтеза белковых молекул маленькие матрицы РНК и это удобство оправдывает затраты на их изготовление на основании той информации, что записана в молекуле РНК. К тому же матрица-ДНК в клетке всего одна, а РНК-копий можно изготовить сколько угодно, в результате чего синтез белков будет более интенсивным. Рибосомы присутствует во всех без исключения клетках, они есть и у эукариот, и у прокариот. Количество рибосом в клетке может достигать десятков миллионов. Иначе и быть не может, ведь живой клетке постоянно нужны белки.



Строение клеточного ядра: 1 – наружная ядерная мембрана; 2 – внутренняя ядерная мембрана; 3 – рибосомы; 4 – хроматин; 5 – ядрышко; 6 – кариоплазма; 7 – ядерная пора

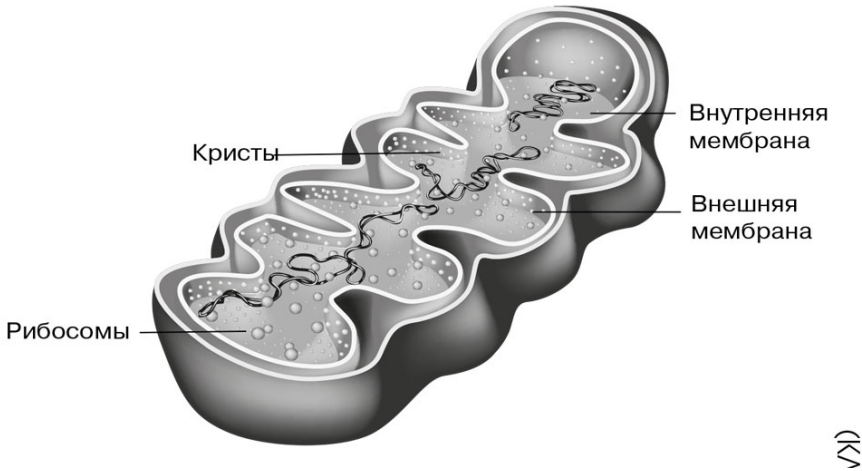


Рибосома

А в чем еще постоянно нуждается живая клетка?

Конечно же в энергии, которая вырабатывается в митохондриях – энергетических станциях клетки. В клетке содержится около 2 000 митохондрий, совокупный объем которых составляет до четверти от общего объема клетки! Митохондрии имеют сферическую или эллипсоидную форму. Мембран у них две – гладкая внешняя и складчатая внутренняя, которая образует множество поперечных перегородок, называемых «кристами».

Митохондрии способны размножаться путем деления.



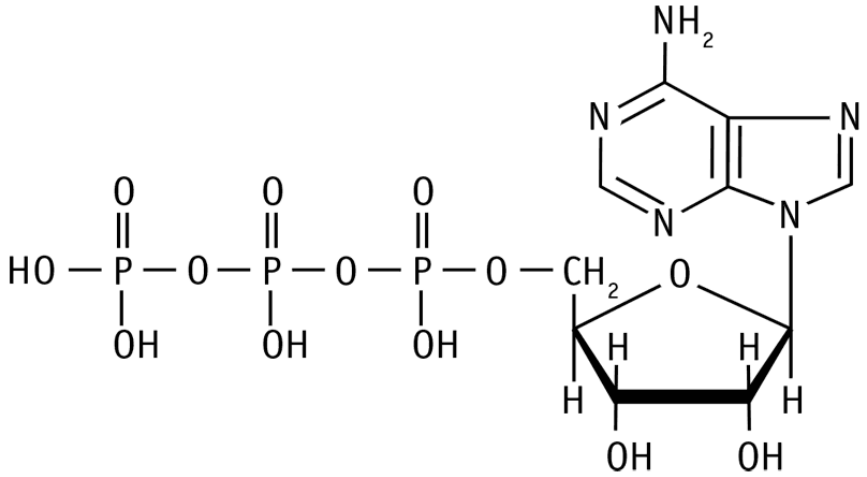
Строение митохондрии

В митохондриях подвергаются окислению органические вещества, поступившие в клетку извне. В ходе этого процесса образуются клеточные аккумуляторы – молекулы аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ), способные накапливать энергию.

Аденозинтрифосфорная кислота – универсальный аккумулятор. Она содержится во всех клетках растений и животных. Количество АТФ в среднем составляет 0,04 % от массы клетки. Наибольшее количество АТФ – до 0,5 % содержится в скелетных мышцах, которые активно работают и нуждаются в больших количествах энергии.

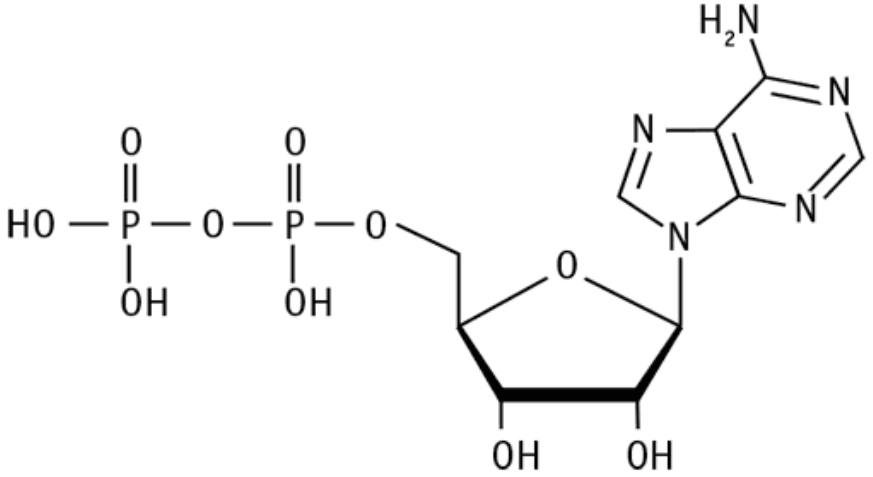
Давайте рассмотрим «схему» нашего аккумулятора.

АТФ состоит из остатков азотистого основания аденина, моносахарида рибозы и трех остатков фосфорных кислот. С химической точки зрения, если кому интересно, она представляет собой рибонуклеозидтрифосфат. Но, согласитесь, что АТФ звучит, выговаривается и запоминается проще. К слову будь сказано, что химики свои мудреные названия никогда не запоминают, потому что в химии все названия даются не с помощью фантазии (например, как названия видов в биологии), а по строгим законам. Химики читают название по формуле и могут написать формулу по названию.

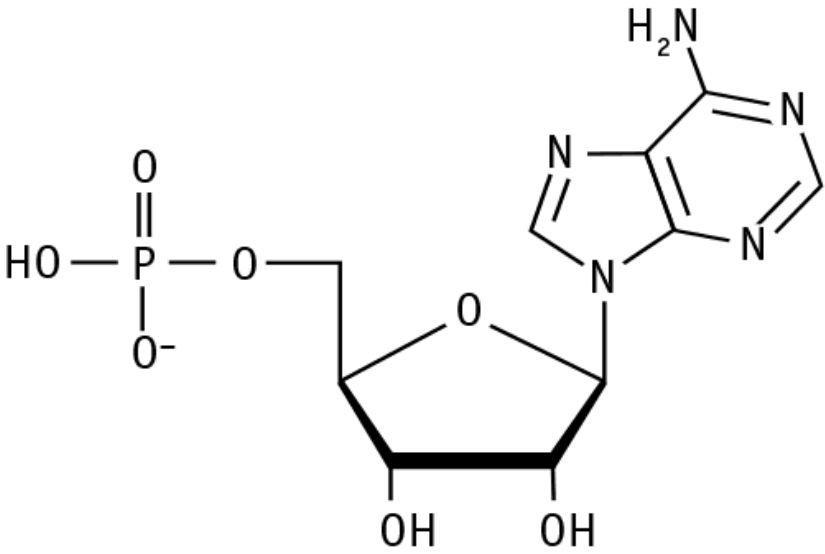


Структурная формула молекулы АТФ

Энергия высвобождается при гидролизе[8] АТФ, когда от молекулы последовательно отщепляются остатки фосфорной кислоты (на формуле они видны слева). При отщеплении концевого остатка фосфорной кислоты АТФ переходит в аденозиндифосфорную кислоту (АДФ), при отщеплении второго остатка фосфорной кислоты – в аденозинмонофосфорную кислоту (АМФ).[9]



Формула АДФ



Формула АМФ

Выход свободной энергии при отщеплении концевого и второго остатков фосфорной кислоты составляет по 30,6 кДж. А вот отщепление третьей фосфатной группы сопровождается выделением только 13,8 кДж. Если вы захотите узнать, сколько это будет в килокалориях, то умножайте количество килоджоулей на 0,24, поскольку в 1 килоджоуле 0,24 килокалории.

Запасы АТФ постоянно пополняются. В клетках всех организмов синтез АТФ происходит в процессе фосфорилирования – присоединения фосфорной кислоты к АДФ. Фосфорилирование, как вы понимаете, сопровождается поглощением энергии.

АТФ является основным связующим звеном между процессами, сопровождающимися выделением и накоплением энергии, и процессами, протекающими с затратами энергии. АТФ – одно из наиболее часто обновляемых веществ в организме. Например, у человека продолжительность жизни одной молекулы АТФ составляет меньше минуты. Наш организм синтезирует около 40 килограмм АТФ ежесуточно, но в каждый конкретный момент в нем содержится около 250 грамм АТФ. Запаса АТФ в организме практически не создается (он всего лишь пятиминутный), поэтому для нормальной жизнедеятельности необходимо постоянно синтезировать новые молекулы этого вещества. Именно поэтому нам приходится принимать пищу 3-4 раза в сутки.

Может возникнуть вопрос – зачем нужна вся эта круговерть?

Только-только синтезируется АТФ и тут же распадается. Не успеешь создать запас, как его уже нет (на ум сразу же приходят Винни-Пух и его горшочек меда). Может, природе стоило бы как-нибудь упорядочить это дело, чтобы в сутки вырабатывать хотя бы 5 кг АТФ вместо 40?

Дело в том, что АТФ – это не форма запаса энергии. Наш организм, как и другие организмы, откладывает энергию про запас в виде жиров и гликогена, полисахарида, образованного остатками глюкозы. АТФ – это не столько средство запаса энергии, сколько средство ее транспортировки из одной точки в другую, от места высвобождения и связывания к месту использования.

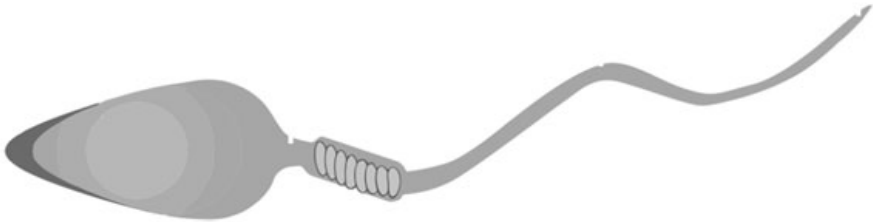
Но довольно с нас химии, пора возвращаться в мир биологии, к строению клетки.

Как по-вашему, если митохондрии способны размножаться самостоятельно, посредством деления, то чем они для этого должны обладать?

Конечно же собственной ДНК или РНК, ведь размножение должно идти по плану, записанному в митохондриальных анналах. Молекулы митохондриальной ДНК относительно невелики, например, в митохондриальной ДНК человека содержится 37 генов, а не сотни-тысячи, как в ядерной ДНК. Но митохондриям этого достаточно. РНК в митохондриях тоже содержится, но все виды митохондриальной РНК являются вспомогательными. Основной носитель наследственной информации – ДНК.

Митохондриальная ДНК наследуется только по материнской линии, поскольку отцовские митохондрии потомству передаваться не могут. У сперматозоида всего одна задача – доставка отцовской ядерной ДНК к яйцеклетке матери. С одной стороны, яйцеклетке кроме ДНК от отца больше ничего не нужно, все остальное у нее есть, а с другой стороны сперматозоид должен иметь как можно меньшую массу, потому что скорость передвижения обратно пропорциональна массе. В сравнении с яйцеклеткой сперматозоиды выглядят лилипутами. Их строение предельно просто – маленькая головка, в которой находится ядро и немного цитоплазмы с митохондриями, короткая шейка, где митохондрий довольно много, и длинный хвост-двигатель. Митохондрии, содержащиеся в шейке нужны для того, чтобы обеспечивать хвост энергией. Во время оплодотворения шейка сперматозоида и хвост остаются снаружи, в яйцеклетку проникает лишь головка. Организм, развившийся из оплодотворенной яйцеклетки, получает митохондрии и митохондриальную ДНК только от матери. То небольшое количество митохондрий,

которое попадает в яйцеклетку вместе с цитоплазмой головки (вместе с ядром), на новом месте не приживается – отцовские митохондрии в яйцеклетке гибнут.

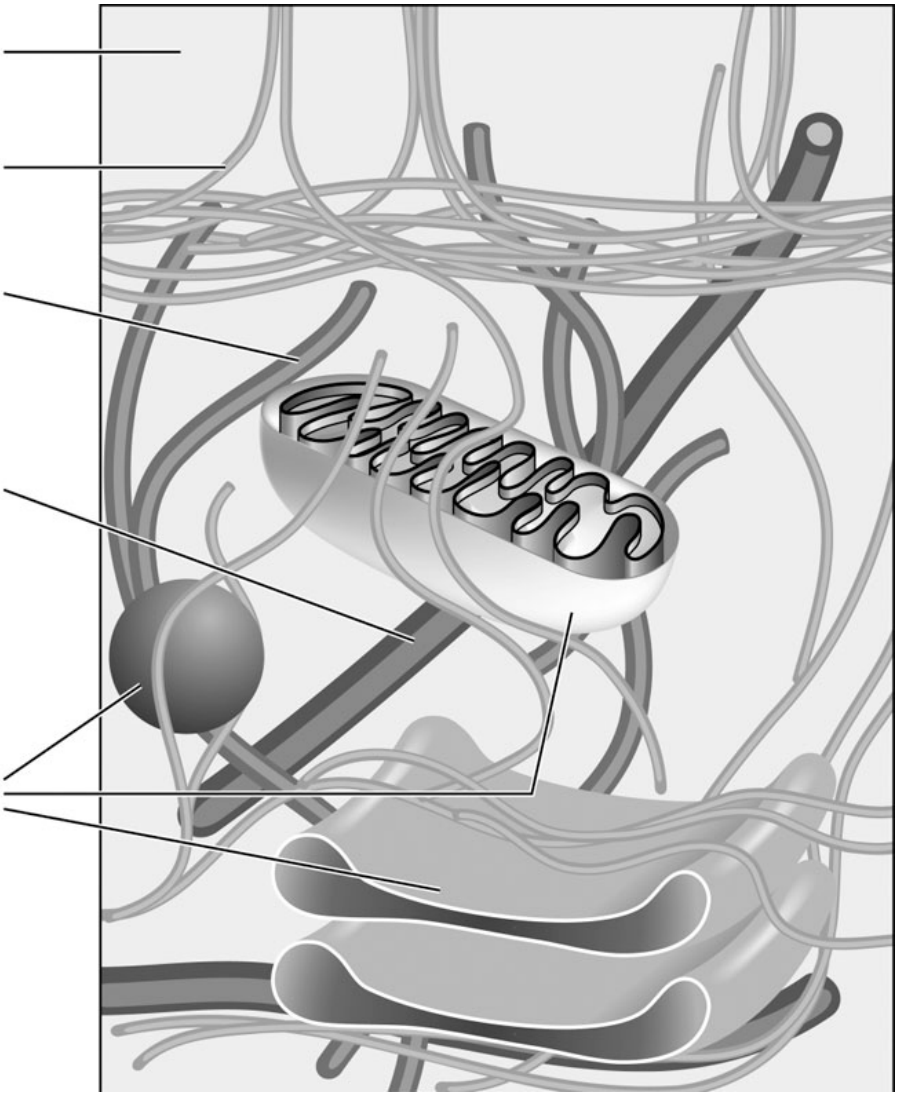


Строение сперматазоида

Но очень-очень-очень редко (достоверно подтвержден только один такой случай)[10] часть отцовских митохондрий каким-то чудом ухитряется выжить и тогда у потомка присутствуют и материнская, и отцовская митохондриальная ДНК.

Не удивляйтесь тому, что вместе с ядром в головке сперматозоида есть цитоплазма. Без нее никак нельзя обойтись. Цитоплазма является обязательной составляющей любой клетки. В цитоплазме происходят основные процессы обмена веществ и энергии, здесь сосредоточены питательные вещества – капли жира, зерна крахмала, кристаллы солей, гранулы гликогена, здесь находятся ядро, митохондрии и другие органеллы. Важно понимать, что цитоплазма не просто внутренняя среда клетки, а упорядоченно функционирующая система, которая объединяет мембрану, ядро и органеллы в целостную живую клетку. Цитоплазма способна к воспроизведению и восстановлению своего состава.

Основное вещество цитоплазмы, называемое гиалоплазмой, [11] представляет собой бесцветную коллоидную среду, состоящую из воды, молекул органических веществ и ионов. Гиалоплазма создает необходимую среду для протекания биохимических реакций, хранит клеточные запасы, участвует в поддержании постоянства внутреннего состава клетки и в транспорте веществ. Гиалоплазма эукариотических клеток пронизана многочисленными белковыми микротрубочками и волокнами, совокупность которых составляет клеточный скелет – цитоскелет. Цитоскелет обеспечивает пространственную организацию цитоплазмы, определяет распределение органоидов в клетке, способствует осуществлению всех типов клеточного движения, а также принимает участие в регуляции обмена веществ.

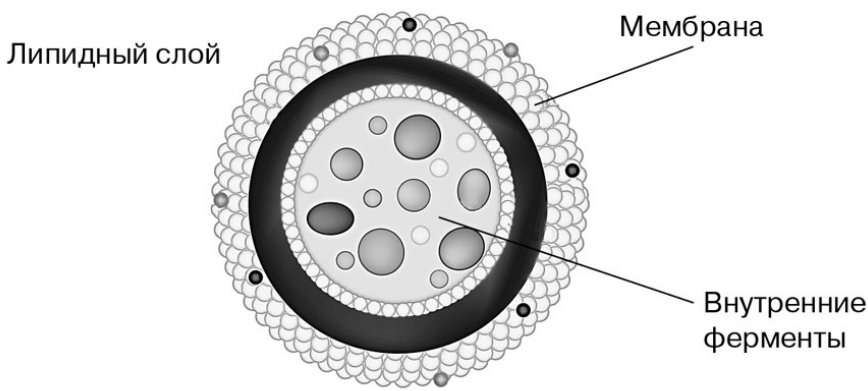


Цитоскелет

В эукариотической клетке имеется «сортировочно-складской центр», называющийся комплексом или аппаратом Гольджи в честь итальянского ученого Камилло Гольджи, открывшего этот клеточный орган в 1898 году. Аппарат Гольджи представляет собой систему цистерн и пузырьков, в которых накапливаются вещества, синтезированные в клетке. Здесь они сортируются, некоторые из них изменяются, нужные остаются, а ненужные выводятся за пределы клетки.

Аппарат Гольджи

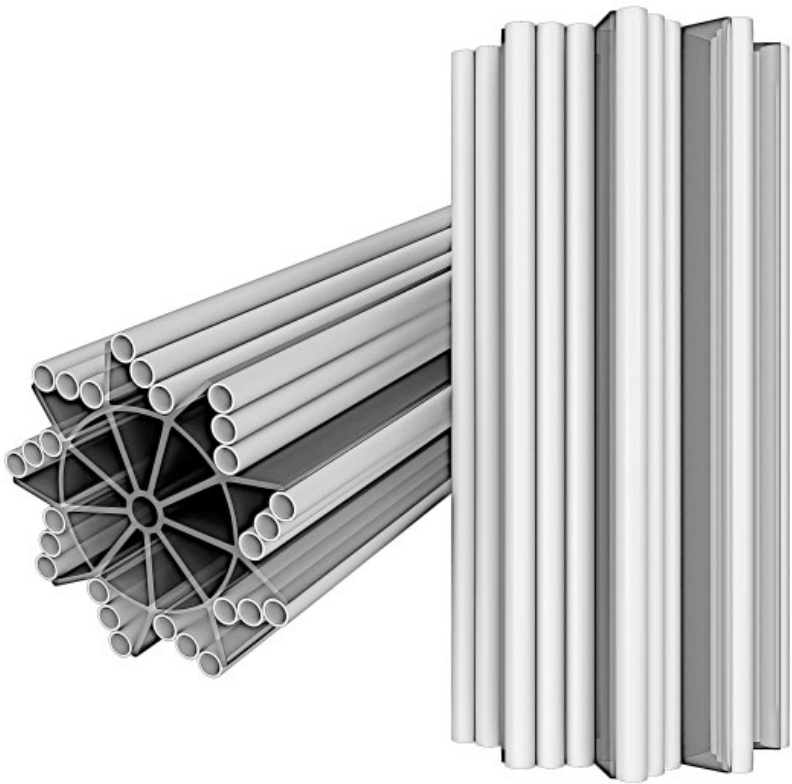
Также в аппарате Гольджи образуются лизосомы – мембранные пузырьки, в которых содержатся ферменты, разлагающие поступившие извне крупные молекулы на более простые. По сути лизосомы занимаются перевариванием пищи.



Структура лизосомы

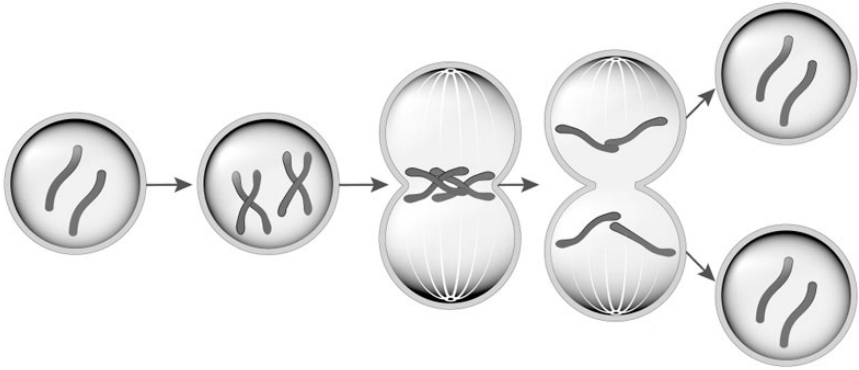
Очень важной органеллой эукариотической является клеточный центр, образованный двумя центриолями – цилиндрическими образованиями, состоящие из девяти пучков

микроскопических трубочек и расположенными под прямым углом друг к другу. Центриоли принимают участие в делении клетки. Они расходятся в разные стороны, к противоположным полюсам клетки и образуют веретено деления – динамичную структуру, обеспечивающую равное разделение хромосом между двумя дочерними клетками.

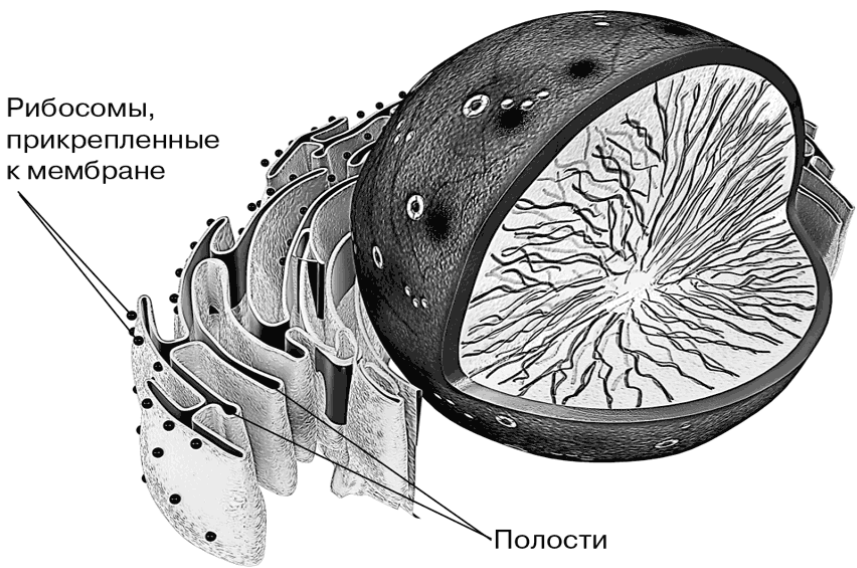


Центриоли

Шероховатая эндоплазматическая сеть или эндоплазматический ретикулум – это сложное сплетение каналов и полостей, своеобразная транспортная система клетки. На наружной поверхности шероховатой эндоплазматической сети располагаются рибосомы.



Образование веретена деления



Эндоплазматическая сеть

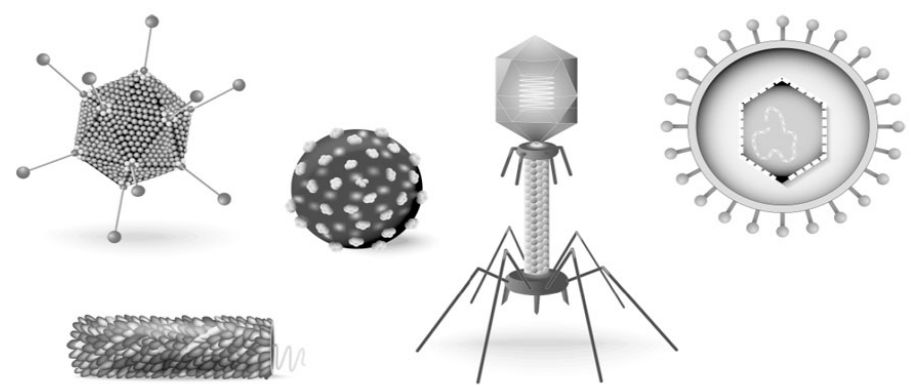
ГЛАДКАЯ ЭНДОПЛАЗМАТИЧЕСКАЯ СЕТЬ принимает участие в синтезе липидов и углеводов, а также образует вакуоли – наполненные газом или жидкостью полости. В животных клетках вакуоли занимают не более 5 % от общего объема клетки, а в растительных клетках могут занимать до 90 %. Если в растительных клетках чаще всего бывает одна крупная расположенная в центре вакуоль, то в животных клетках несколько мелких вакуолей располагаются на периферии. Вакуоли выполняют различные функции – подобно лизосомам разлагают сложные молекулы на простые, накапливают нужные вещества и участвуют в их выведении за пределы клетки и т. д.

Продолжение оболочки клеточного ядра образует

разветвленную сеть трубочек и карманов, которая называется эндоплазматическим ретикулумом (это переводится как «внутриплазматическая сеть»). Главной задачей ретикулума является обеспечение активного транспорта веществ внутри клетки. Кроме того, ретикулум участвует в различных процессах клеточного обмена. Часть ретикулума, покрытая рибосомами, называется шероховатым ретикулумом, а та часть, на которой рибосом нет – гладкой.

Эукариотическая клетка – довольно сложная структура. Безъядерные клетки устроены проще, но в сравнении с вирусами даже они выглядят весьма представительно, ибо вирусы устроены предельно просто. От клеточных организмов вирусы отличаются полным отсутствием обмена веществ и энергии, а также отсутствием клеточной структуры и аппарата синтеза белка. Вирусы – это молекулы ДНК (небольшие) или РНК, заключенные в защитную белковую оболочку, называемую капсидом. Ничего лишнего – только матрица для образования новых вирусов. При такой простоте вирусы самостоятельно размножаться не могут. Они внедряются в клетку и используют ее ресурсы для размножения. Посредством своей нуклеиновой кислоты вирус программирует структуры клетки-хозяина на синтез своего вирусного материала – нуклеиновой кислоты и белков капсида – из клеточных веществ с использованием клеточной энергии. Можно сказать, что вирус подчиняет себе клетку. Паразитируя в клетках, вирусы нарушают их нормальную жизнедеятельность, вызывая различные болезни. Вирусы способны поражать все живое – животных, растения, одноклеточные организмы.

На сегодняшний день известно более 1000 вирусов.



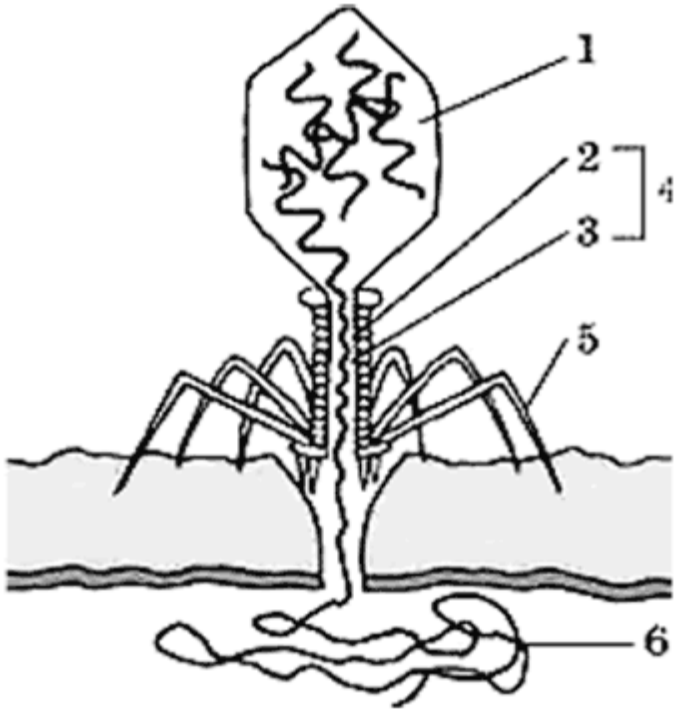
Схематическое изображение различных вирусов

Размеры вирусов очень малы. Их выражают в нанометрах 1 нанометр (нм) = 10^{-9} метра. «Мелкий» вирус полимиелита имеет

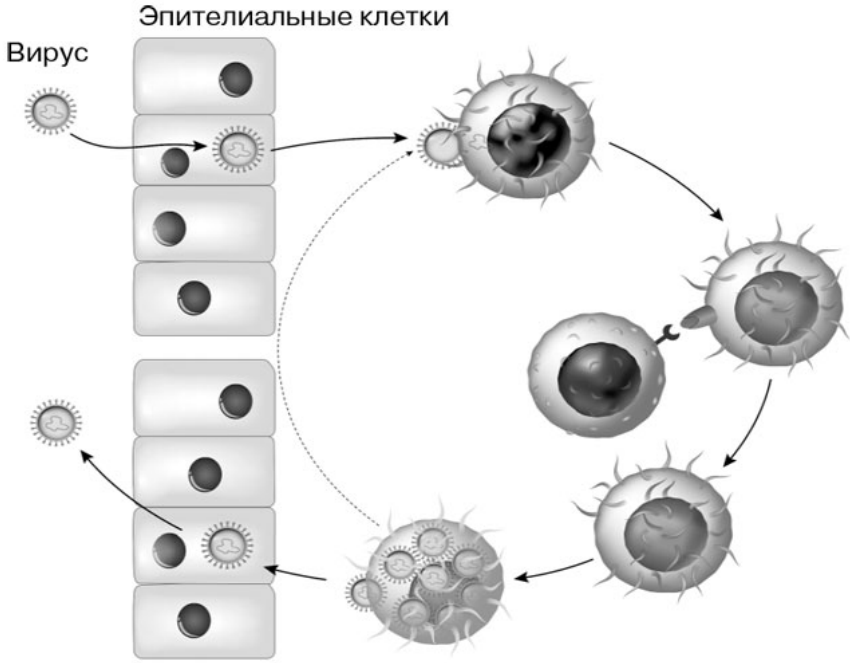
размер около 20 нм, а «гигантский» вирус желтухи свеклы – около 1500 нм. Одновременно клетку могут заселять несколько десятков вирусов.

Капсид выполняет не только защитную функцию. Он также обеспечивает прикрепление вируса к поверхности клеточной мембраны благодаря наличию рецепторов, способных связываться с мембранными рецепторами. Без фиксации капсида на мембранной поверхности, то есть без наличия на ней нужных рецепторов, не может произойти проникновение вируса в клетку, не может развиться вирусное заболевание. Каждый вирус имеет строго определенный круг хозяев, в клетках которых он способен размножаться. Есть вирусы, паразитирующие только на одном-единственном виде бактерий,[12] а вот вирус бешенства имеет обширный круг хозяев – он поражает всех млекопитающих без исключения.

У некоторых вирусов, кроме капсида есть дополнительная защитная оболочка из липопротеина, вещества, образованного соединением белка и липида. Наиболее сложно устроены вирусы-бактериофаги («пожиратели бактерий»), которые паразитируют на бактериях. Эти вирусы имеют аппарат для транспортировки своей нуклеиновой кислоты в бактерию, по действию напоминающий шприц. В головке бактериофага находится нуклеиновая кислота, которая проталкивается в клетку-хозяина под давлением через хвост, который выступает в роли иглы, прокалывающей мембрану бактерии-хозяина, вернее – мембрану бактерии, которой предстоит стать хозяином.



«Введение бактериофагом своей нуклеиновой кислоты в цитоплазму клетки-хозяина»



Паразитирование вируса герпеса в клетке

Чем проще устройство, тем реже оно ломается. Чем проще устроен организм (давайте договоримся, что мы станем считать вирусы особой формой жизни), тем труднее нарушить его жизнедеятельность. С вирусами очень трудно бороться потому что они имеют простейшее строение и, вдобавок, обитают внутри клеток, которые служат им защитой. Противовирусные препараты по принципу действия подразделяются на две группы – стимуляторы иммунной системы, которая борется с чужеродными агентами, и препараты, поражающие вирусы напрямую. Препараты «прямого действия» могут препятствовать проникновению вируса в клетку, его размножению внутри клетки и выходу копий вируса из клетки. Лучше всего, конечно, не допускать проникновения вируса в клетку, поскольку таким образом клетки организма предохраняются от повреждения.

В художественном произведении персонаж, мешающий главному герою достигать его целей, называется антагонистом. Вирусы можно считать «антагонистами» живых клеток, потому что они мешают их нормальному функционированию.

Давайте вместе подумаем над тем, можно ли считать вирусы особой, неклеточной формой жизни.

С одной стороны, вирусы не имеют обмена веществ и энергии, не осуществляют синтеза белков, нуклеиновых кислот и других необходимых им веществ. Самостоятельно, без использования чужих ресурсов, вирусы воспроизводиться не могут. Ну какие же это живые организмы? Это всего лишь комплексы органических молекул, способные взаимодействовать с живыми организмами.

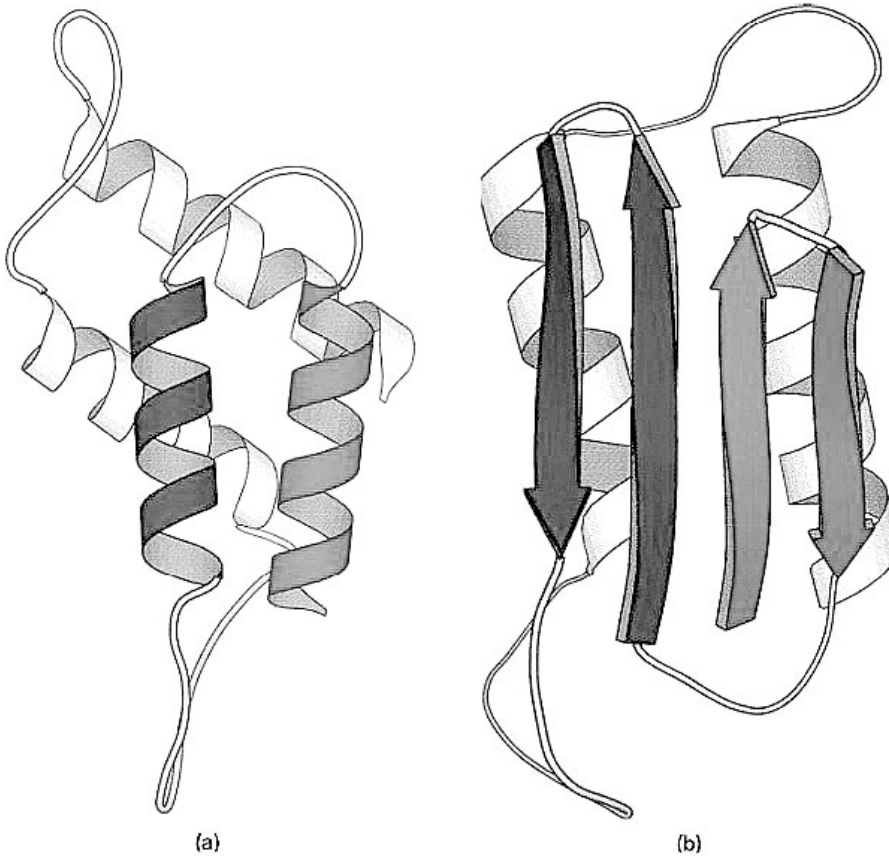
С другой стороны, вирусы способны к размножению, пусть и внутри клетки-хозяина, но способны, они имеют свой собственный генетический материал и изменяются в процессе эволюции, что свойственно живым организмам и никому больше. Если смотреть в корень, то становится ясно, что вирусы представляют собой особую форму жизни, а не просто «комплексы органических молекул». Биологи в шутку говорят о вирусах, что «они живые, но не совсем».

Но если вирусы с небольшой натяжкой можно отнести к особой форме жизни, то с прионами дело обстоит гораздо сложнее. У прионов нет генетического материала. Прион – это молекула белка с аномальным пространственным строением. Длинная молекула приона свернута в клубок не так, как принято у нормальных белков, а несколько иным образом. Когда эта молекула встречается с правильно свернутой молекулой аналогичного белка, то она перестраивает ее, делает похожей на

себя, то есть – неправильной. А неправильные молекулы, в свою очередь, делают неправильными другие правильно свернутые молекулы. Идет цепная реакция, которая заканчивается лишь тогда, когда правильных молекул не останется. Этот процесс можно сравнить с размножением приона, причем такое размножение происходит без участия нуклеиновых кислот.

Белок с измененной структурой не может выполнять свои обычные функции, жизнедеятельность клеток нарушается и развиваются болезни. Про коровье бешенство, которое по-научному называется губчатой энцефалопатией[13] крупного рогатого скота, все слышали? Это заболевание вызывается прионным белком PrP, который представляет собой гликопротеин, крепящийся снаружи к мембране нервных клеток. Нормальные белки головного мозга становятся плотными и мозговое вещество словно бы сжимается, в нем возникают многочисленные поры, отчего оно начинает напоминать губку. Потому-то это заболевание называют губчатой энцефалопатией.

Вот как быть с прионами? Они умеют только размножаться и ничего больше… Но можно ли назвать «размножением» перестройку нормальных молекул белка? С другой стороны, вирусы тоже делают нечто похожее – используют для размножения резервы клеток, в которых они паразитируют. Так можно ли считать прионы особой формой жизни или нет?



Два варианта пространственной конфигурации прионного белка

Вопрос остается открытым. И надо сказать, что это не самая крупная нерешенная проблема современной биологии. Самая крупная из нерешенных проблем настолько сложна, что многие ученые, когда-то буквально фонтанировавшие энтузиазмом, отказались ею заниматься. Да вот, представьте себе – отказались. Сложили руки, признали свое поражение и заявили, что на данный момент решение этой проблемы не представляется возможным. Но отдельные герои продолжают поиски, а кто ищет, тот, как известно, всегда найдет.

Вы заинтригованы?

Читайте следующую главу!

Глава третья. Откуда что взялось или теории происхождения жизни на Земле

Вопрос о том, откуда на нашей планете взялась жизнь, волновал человечество с древнейших времен, но первую стройную научную теорию происхождения жизни на Земле предложил в 1923 году советский биолог Александр Опарин.

Место и время рождения этой теории, которая получила название теории биохимической эволюции или теории абиогенного[14] синтеза, хотя на деле являлась гипотезой,[15] были неслучайными. Советское правительство, активно пропагандировавшее атеизм, остро нуждалось в научном объяснении появления жизни на нашей планете. И дать такое объяснение должен был ученый нового социалистического времени, свободный от буржуазно-религиозных предрассудков. Опарин, окончивший естественное отделение физико-математического факультета МГУ в революционном 1917 году идеально подходил под это требование. Впоследствии идеи Опарина получили развитие в трудах английского ученого Джона Холдейна и потому теорию Опарина часто называют теорией Опарина-Холдейна.

Опарин считал, что живая материя зародилась в недрах неживой. Собственно, ничего другого и нельзя было предположить. Если отринуть идею Высшей силы, сотворившей все живое, то неизбежно придешь к тому, что живое произошло от неживого.

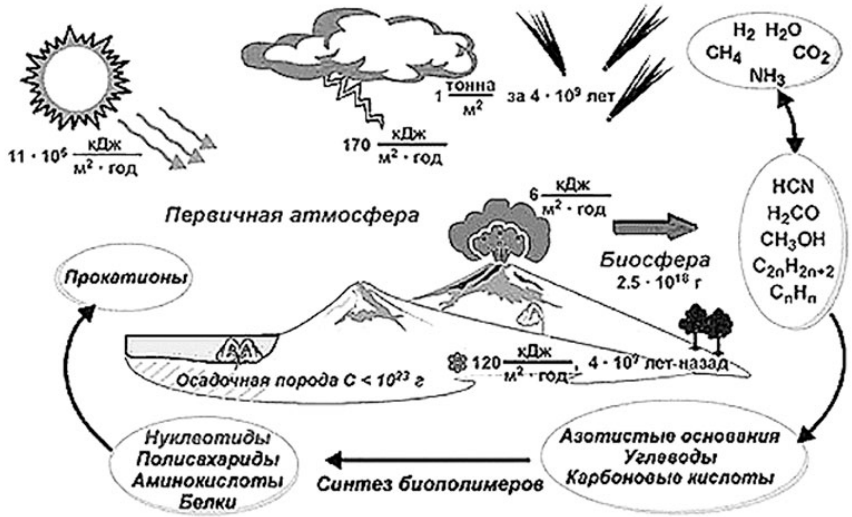
Невероятно?

Вполне вероятно, давайте проследим за рассуждениями Опарина, который выделял три этапа перехода от неживой материи к живой.

Первый этап Опарин назвал химической эволюцией, подразумевая, что химические вещества переживали такой же естественный процесс развития, как и все живое на нашей планете и вектор этого процесса был направлен от простого к сложному – происходил синтез соединений углерода без участия живых организмов.

По мнению Опарина этот синтез начался примерно 4 000 000 000 лет назад. Тогда на нашей пока еще безжизненной планете повсеместно извергались вулканы, выбрасывая в атмосферу огромные количества раскаленной лавы. В атмосфере Земли

тогда не было озонового слоя, улавливающего часть солнечного излучения (а именно – коротковолновое ультрафиолетовое излучение, которое неблагоприятно для всего живого) и лучи Солнца доходили до земной поверхности без потерь. В водах первичного океана были растворены различные неорганические соли. Таковы были предпосылки химической эволюции.



Схематическое изображение теории биохимической эволюции

И что же произошло?

Под действием ультрафиолетового излучения, высокой температуры окружающей среды, электрических разрядов молний и активной вулканической деятельности в атмосфере нашей планетынепрерывно образовывались различные органические соединения, которые затем попадали в океан. Концентрация органических соединений в воде постоянно увеличивалась, и в конечном итоге воды океана стали «бульоном» из пептидов,[16] сахаров, нуклеозидов и прочих низкомолекулярных органических веществ, причем – довольно насыщенным бульоном.

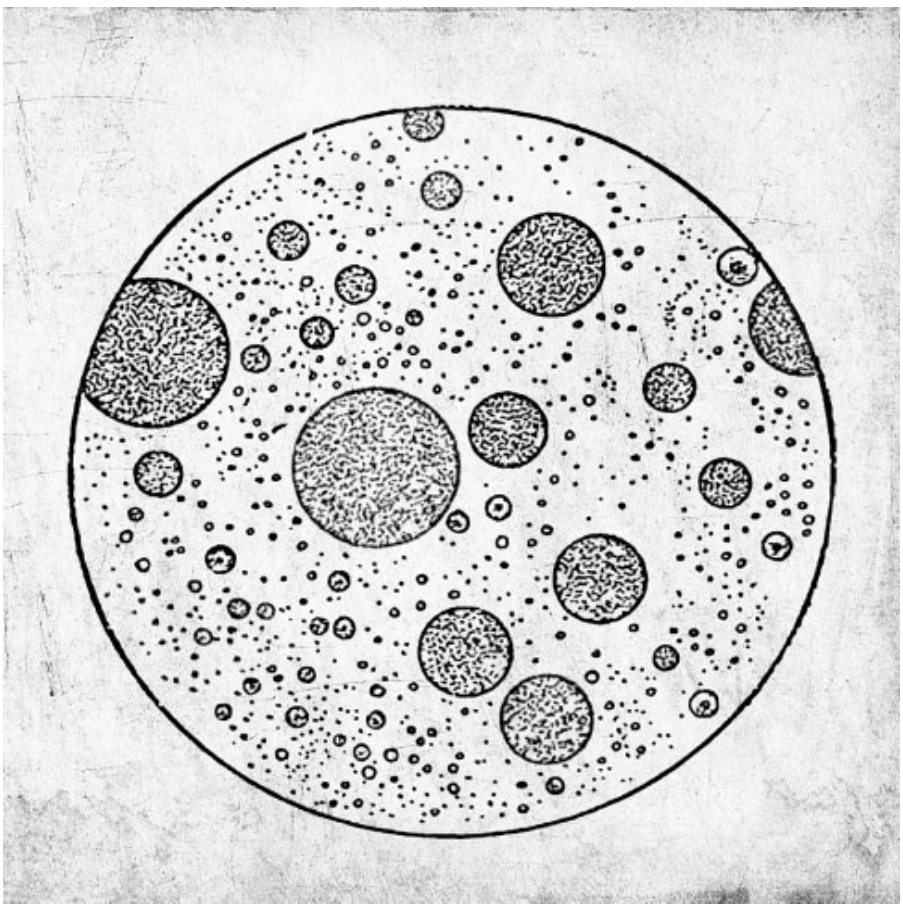
Второй этап был ознаменован появлением белков и других высокомолекулярных соединений. В какой-то момент, под действием перечисленных выше факторов, началось слияние небольших молекул в крупные комплексы, что привело к образованию белков, нуклеиновых кислот и полисахаридов.

Венцом химической эволюции стало появление коацерватов – капель с бóльшей концентрацией коллоида нежели в остальной части раствора того же самого химического состава.

Давайте вспомним из курса химии, что коллоидами (в переводе с греческого – «клеевидными») называются дисперсные

системы, промежуточные между истинными растворами и взвесями, в которых в растворителе присутствуют не молекулы, а мелкие частицы растворенного вещества, состоящие из многих молекул.

Коацерватные капли, образующиеся в концентрированных растворах белков и нуклеиновых кислот, способны адсорбировать различные вещества. А еще они способны к слиянию друг с другом и к распаду на несколько частей, условно сравнимому с размножением. Условно, потому что коацерваты не способны к самовоспроизведению. И к саморегулированию они тоже не способны, поэтому их нельзя рассматривать в качестве живых организмов. Опарин рассматривал коацерваты как некие «предбиологические» системы.



Коацерват

Третьим и заключительным этапом было «оживление» коацервата. «На бумаге», то есть – теоретически, все выглядело логично. Вокруг коацерватов возникли слои липидов, отделившие

их от окружающей водной среды. В процессе эволюции эти слои превратились в наружную мембрану. В коацерватах начали формироваться взаимные связи между нуклеиновыми кислотами и белками. В результате синтез необходимых оживающему коацервату белков стал осуществляться на основе информации, «записанной» в молекулах нуклеиновых кислот. Эти кислоты получили способность к самовоспроизведению при участии специфических белковых ферментов…

В результате всего этого коацерваты превратились в так называемые протобионты – уже живые, могущие размножаться и способные к обмену веществ, но пока еще не имеющие клеточной организации. Со временем это «недостаток» был исправлен – внутри протобионта сформировались митохондрии и некоторые другие органеллы. Химическая эволюция завершилась образованием первичной клетки, которую Опарин называл «археклеткой» – древнейшей клеткой. С этого момента началась другая эволюция – биологическая.

Та-да-да-дам! Хочется трубить в фанфары и аплодировать, однако в бочке нашего меда есть целый половник дегтя.

Возможность абиогенного синтеза высокомолекулярных органических веществ была экспериментально доказана в 1953 году американскими учеными Стэнли Миллером и Гарольдом Юри. Для проведения эксперимента был создан аппарат, состоявший из двух стеклянных колб, соединенных в замкнутую цепь (см. рисунок). В одну из колб было помещено устройство, имитирующее грозовые эффекты – два электрода, между которыми регулярно происходил электрический разряд напряжением примерно в 60 000 вольт. В другой колбе постоянно кипела вода. Аппарат был заполнен смесью газов, соответствовавшей тогдашним представлениям о составе атмосферы ранней Земли. Смесь состояла из метана (CH_4), аммиака (NH_3), водорода (H_2) и монооксида углерода (CO).

После двух недель непрерывной работы в колбе с водой были обнаружены такие вещества, как уксусная и муравьиная кислоты, мочевина и несколько аминокислот. Аминокислоты в данном эксперименте имели первостепенное значение – раз уж они образовались «из ничего», то рано или поздно начнут соединяться в цепочки и таким образом превратятся в белки, основу жизни на нашей планете. Эксперимент можно было не продолжать до образования первых белковых цепочек, все было ясно и так – в соответствующих условиях при наличии определенных исходных продуктов из неорганических веществ в случайном порядке могут образовываться высокомолекулярные органические соединения.

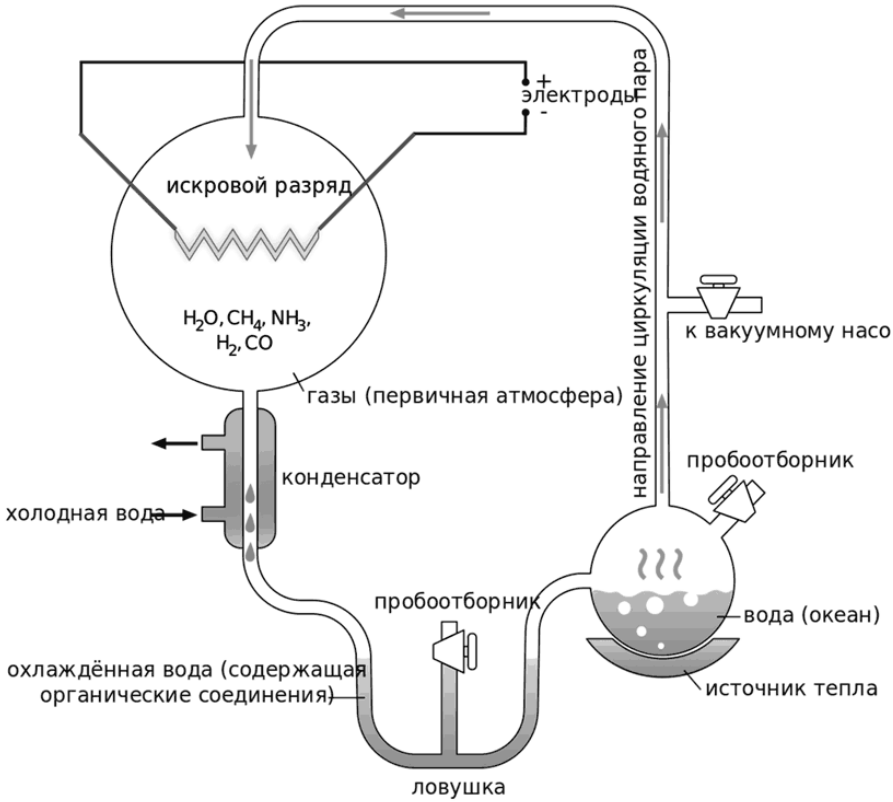


Схема эксперимента Миллера-Юри

Но эксперимент Миллера-Юри все же продолжили другие ученые, которые дошли до «конца первой серии» – получили все виды биологических молекул, в том числе сложные белки, аналогичные белкам живых клеток, и липиды, способные образовывать клеточные мембраны.

Способные образовывать… Наличие материалов, необходимых для строительства дома, еще не означает, что дом будет построен, не так ли?

Первая часть гипотезы Опарина была подтверждена экспериментальным путем, что свидетельствовало о ее состоятельности и давало право называться уже не гипотезой, а теорией. Что же касается второй части – перехода от сложных органических соединений к живым организмам – то с ней вышла загвоздка. Несмотря на многократные попытки ученых, создать живую клетку из коацервата пока еще никому не удалось. А уж люди старались на совесть, ведь превращение коацервата в клетку в лабораторных условиях стало бы самым эпохальным научным экспериментом всех времен. Старались по-всякому… Но

ничего не вышло. Правда, в 2011 году повеяло чем-то доказательным, когда ученые из Токийского университета смоделировали подобие протоклеток, способных производству копий собственной ДНК и, следовательно, к самовоспроизведению. Но (как тут не вспомнить классическое: «Все что говорится до слова «но» – не имеет значения») этот эксперимент был поставлен с «посторонней» ДНК, которую ввели в протоклетки на начальной стадии эксперимента. Вот если бы ДНК протоклетки возникла бы сама по себе, то здесь были бы к месту и фанфары, и литавры, и бурные продолжительные аплодисменты, переходящие в овацию, и Нобелевская премия…

Увы, возможность спонтанного возникновения жизни на сегодняшний не доказана и в обозримом будущем вряд ли что-то изменится. Превращение коацервата в живую клетку современные ученые считают заведомо неразрешимой задачей. Нельзя сказать, что ученые «опустили руки», просто все понимают, что возможности современной науки этого не позволяют. Да и сама теория Опарина-Холдейна в наше время теряет сторонников. Она признается «за неимением лучшего», но подвергается критике с различных позиций.

Современные геологи все больше и больше склоняются к мнению относительно того, что древняя атмосфера нашей планеты состояла только из углекислого газа, водяных паров, азота и небольшого количества водорода. Если в аппарат Миллера-Юри поместить такую смесь, то никакие аминокислоты, кроме простейшей аминоуксусной, известной также под названием глицин,[17] там не образуются. Более сложные аминокислоты могут образовываться в ходе эксперимента лишь в присутствии метана, наличие которого в древней атмосфере планеты в наше время вызывает серьезные сомнения. Это первое.

Насколько точно современная наука способна судить о атмосфере давностью в несколько миллиардов лет? Надо сказать, что возможности для точных выводов есть и делаются эти выводы на основании совокупных исследований в ходе которых могут учитываться даже отпечатки дождевых капель на горных породах определенного возраста. Казалось бы – ну разве можно судить о составе и характере атмосферы по отпечаткам дождевых капель? Представьте – можно. Глубина впадин, которые оставляли дождевые капли, дает возможность рассчитать скорость их падения, которая, в свою очередь, позволяет определить плотность воздуха того периода. А на основании плотности воздуха можно судить о его составе. Это был всего лишь один из примеров того, как делаются выводы подобного рода.

Второе возражение связано с отсутствием озонового слоя в

древней атмосфере нашей планеты. Коротковолновая ультрафиолетовая часть солнечного излучения, которая поглощается озоновым слоем, способствует разрыву химических связей в молекулах, дает молекулам энергию, необходимую для развития этих связей. Из-за воздействия «короткого ультрафиолета», образовавшиеся в атмосфере органические вещества должны были очень быстро разрушаться, еще до попадания в воду первобытного океана.

Это возражение можно оспорить, переведя процесс образования органических веществ в воду. Газы имеют свойство растворяться в воде, а молнии достигают водной поверхности, так что в верхнем слое океана вполне могли происходить те же химические реакции, что и в атмосфере. В то же время коротковолновая ультрафиолетовая часть солнечного излучения интенсивно поглощается водой. Как говорится – делайте выводы.

Третье возражение основано на непригодности первобытного океана в эпоху интенсивного извержения вулканов для возникновения жизни. Воды первобытного океана содержали великое множество химических веществ, среди которых непременно должны были присутствовать в больших количествах различные ингибиторы – вещества, замедляющие химические реакции и подавляющие активность ферментов. Но тут, как говорится, бабушка надвое сказала. С одной стороны, все, вроде бы и так, а с другой – великое множество химических веществ, в первую очередь, означает великое множество химических реакций и далеко не все из этих реакций могли «тормозиться» ингибиторами. Но если уж говорить начистоту, то третье возражение является самым слабым. Опарин разбил бы его в пух и прах.

А вот четвертый «камень» в огород Опарина и Холдейна является самым увесистым. Критики не верят в то, что молекулы первых ДНК могли возникнуть спонтанно, без родительской матрицы. Надо признать, что их сомнения имеют под собой почву. Вероятность спонтанного появления огромной молекулы нуклеиновой кислоты, причем не просто огромной, но еще и содержащей упорядоченную кодированную информацию, ничтожно мала. Эксперименты по «спонтанному»[18] созданию ДНК успехом не увенчались. Вдобавок нужно добиться спонтанного возникновения сложной системы взаимосвязи ДНК с белками, а каким образом это могло произойти, неясно.

В качестве альтернативной теории нередко приводят гипотезу панспермии[19], выдвинутую немецким ученым Германом Эбергардом Рихтером в далеком 1867 году, задолго до появления теории Опарина. Согласно этой гипотезе жизнь на

Земле появилась в результате занесения из космического пространства «зародышей жизни» – спор микроорганизмов. Переносчиком «зародышей жизни» Рихтер считал метеориты. В начале XIX века, после того, как русским физиком Петром Лебедевым было открыто давление светового излучения,[20] возможным переносчиком спор стали считать свет. Давайте не станем углубляться в то, сколь интенсивным должно быть световое излучение для того, чтобы оно могло бы переносить споры, и в то, что метеориты при приближении к нашей планете сильно нагреваются вследствие трения об атмосферу. Это не так уж и важно, в сравнении с главным недостатком гипотезы панспермии – она никак не объясняет возникновение жизни вообще, а всего лишь предлагает конкретный способ появления жизни на нашей планете. Это не выход, ведь нам нужен исчерпывающий ответ на вопрос: «как появилась жизнь?».

В 1968 году американский микробиолог Карл Везе высказал предположение о том, что у истоков жизни на нашей планете могли стоять молекулы РНК, которые хранили генетическую информацию и были способны к самостоятельному воспроизведению. Позднее эта идея была развита другим американским ученым – химиком Лесли Орджелом, который сделал из нее научную гипотезу, доработанную в 1986 году американским же биохимиком Уолтером Гилбертом. Гилберт же и предложил название «гипотеза мира РНК».

Вам нужно объяснить, как появилась первая ДНК-матрица, способная тиражировать себя и несущая информацию о сложных белках, которые необходимы живой клетке? Необходимы, в том числе, и для копирования молекул ДНК, происходящего с при участии некоторых белков, например – белкового фермента ДНК-полимеразы.

Вам нужно объяснить, как образовалась взаимосвязь между ДНК и белками?

Вы смотрите на замкнутый круг «ДНК – Белки» и понимаете, что вам ничего не понятно?

Посмотрите на проблему возникновения жизни с другой стороны.

Молекулы РНК не только хранят наследственную информацию, но и обладают ферментативной способностью, они могут ускорять химические реакции в живых организмах (РНК-ферменты называются рибозимами). А еще молекулы РНК обладают способностью к самокопированию. Такой набор способностей дает РНК возможность автономного существования – на РНК-матрице РНК-ферменты делали копии…

Если у вас возник вопрос – а при чем тут ферменты? – то

имейте в виду следующее. Процесс копирования молекулы или части молекулы ДНК или РНК происходит следующим образом – молекуле ползет фермент, считывающий информацию и делающий на ее основании копию. Сама по себе, по мановению волшебной палочки, молекула не удвоится, кто-то должен этим заняться. Если принять за отправную точку создание ДНК, то сразу же возникает вопрос – а кто считал информацию с первой молекулы ДНК, для того, чтобы синтезировать первую молекулу белка и первую молекулу РНК? Две молекулы ДНК помочь друг другу с копированием не могут, в отличие от двух молекул РНК.

Справедливости ради нужно заметить, что вероятность спонтанного возникновения РНК, обладающей ферментативными свойствами, весьма низка и этот довод является основным аргументом критиков гипотезы РНК-мира. И абиогенный синтез РНК из более простых соединений пока не удалось воспроизвести экспериментально в полной мере. Но многим современным ученым гипотеза РНК-мира нравится гораздо больше, чем теория-гипотеза Опарина-Холдейна. Даже те, кто критикует гипотезу РНК-мира, не столько отказывают ей в состоятельности, сколько сомневаются в первичности РНК-мира, предполагая, что этот мир стал следующим этапом после этапа спонтанного синтеза разных органических веществ, о котором говорили Опарин с Холдейном.

Напрашивается вопрос – а как в этом прекрасном РНК-мире появились белки, липиды и углеводы? Зачем они понадобились молекулам РНК, которые прекрасно обходились без «чужаков»?

Если чужак окажется полезным, то он сразу же станет своим. В результате каких-то сбоев в считывании-копировании наследственной информации могли возникать аномальные соединения – например белок, обладающий ферментативной активностью. Мутации превратили мир одной клетки-праматери в то великолепие, которое мы имеем сейчас.

Мутацией, если кто не в курсе, называется стойкое изменение генетического материала, приводящее к изменению наследственной информации и потому передающееся потомству. Термин этот образован от латинского слова «мутацио» – изменение. В свое время мы подробно поговорим о мутациях, о эволюции, о естественном отборе и об отличиях синтетической теория эволюции от классического дарвинизма. А сейчас нам надо закончить с РНК-миром.

Как, по-вашему, можно ли считать существование вирусов доказательством гипотезы РНК-мира? Мол, сначала появились вирусы, а уже затем – клетки.

Разумеется – нет, ведь вирусы не способны размножаться сами по себе, вне живых клеток. Гипотеза первичности вирусов не

выдерживает критики и сразу же сдувается. Единственное, о чем можно говорить, так это о примерно одновременном появлении вирусов и живых клеток.

Согласно гипотезе побега или гипотезе бродяжничества, вирусами стали молекулы (часть молекул) ДНК или РНК, покинувшие клетку. Однако эта гипотеза не может объяснить, как эти «сбежавшие» нуклеиновые кислоты обзавелись капсидом.

Наиболее правдоподобной, но при этом довольно слабой, выглядит гипотеза регрессивного происхождения или гипотеза вырождения вирусов («регресс» означает «вырождение»). Согласно этой гипотезе, вирусы произошли от обычных клеток, которые стали паразитировать внутри других клеток. Со временем клетки-паразиты утратили клеточное строение и упростились до нуклеиновой кислоты в оболочке. А зачем паразитам нужны органеллы и обмен веществ и энергии, если они живут в клетках-хозяевах и получают все, что нужно для размножения, от них? Эволюция при помощи естественного отбора закрепляет полезные признаки и убирает все ненужное вместе с вредным, поэтому паразитизм на любом уровне живой организации приводит к упрощению строения. В этом вы можете убедиться самостоятельно, сравнив строение триклад со строением бычьего (свиного) цепня или же строение кого-то из представителей отряда Desmodorida со строением аскариды. Гугл вам в помощь!

На чаше весов в наше время гипотеза РНК-мира перевешивает теорию Опарина-Холдейна. Ученые больше склонны верить в то, что им удастся создать лабораторную модель РНК-мира, нежели в то, что они смогут превратить коацерват в живую клетку.

Пока что все очень туманно и неоднозначно. С уверенностью можно сказать только одно: «будущее покажет». Будущее всегда что-нибудь показывает иногда решение сложной задачи, а иногда и кукиш с маслом.

Если тема спонтанного возникновения жизни взяла вас в плен и не хочет отпускать, то вы можете самостоятельно проработать гипотезу мира полиароматических углеводородов. Мы ее здесь разбирать не будем, и не потому что не хочется, а потому что это очень опасно. Перед началом разбора придется объяснять-вспоминать, что такое бензольные кольца, что такое водородные и ковалентные связи, что такое азотистые основания и т. д. В результате мы забредем в джунгли большой химии, откуда обратно к биологии можем уже не вернуться. Ну и вообще, самостоятельный научный поиск – это так увлекательно!

Ах, мы так увлеклись, что забыли о прионах. Если вы думаете, что в отношении происхождения прионов у ученых нет ни сомнений, ни разногласий, то сильно ошибаетесь. Существуют

три гипотезы, объясняющие происхождение прионов. Первая гипотеза предполагает, что первый прион появился в результате мутации, а дальше уже пошло-поехало. Согласно второй гипотезе неправильное сворачивание белковой «ленты» в клубок было вызвано какими-то внешними факторами, а не мутацией. Третья гипотеза считает постоянный синтез некоторого количества прионнных белков нормальным для любого живого организма. Эти прионы не успевают нанести вред, поскольку ферменты-протеазы, занятые расщеплением белков, уничтожают их сразу же после «рождения». Но если вследствие мутации или же по какой-то иной причине снижается активность протеаз или уменьшается их содержание в клетках, то прионы вырываются на свободу и начинают бесчинствовать. Выберите ту версию, которая вам больше нравится.

Глава четвертая. Жизнь и размножение клеток

Антон Павлович Чехов считал, что призвание каждого человека заключается в духовной деятельности – в постоянном искании правды и смысла жизни.

С философской точки зрения смысл жизни – очень глубокая тема, которой в той или иной степени занимались все великие философы. И каждый давал свое понимание смысла жизни. Древнегреческий философ Эпикур провозгласил целью жизни получение удовольствия, а австрийский философ Людвиг Витгенштейн вообще отрицал наличие у жизни некоего глобального смысла.

Но давайте оставим философию философам и порадуемся за биологов, у которых с определением смысла жизни дело обстоит предельно просто. Биологический смысл жизни любого организма состоит в размножении. Дожить до половозрелого возраста и дать потомство (как можно больше потомства) – вот к чему стремится все живое.

Клетки живых организмов постоянно делятся, одноклеточные организмы постоянно размножаются, а в многоклеточных организмах вместо отмирающих старых клеток появляются новые. За жизнь человека в его организме осуществляется примерно 10^{14} делений клеток. Сто тысяч миллиардов делений! Впечатляющая цифра, не так ли?

Можете ли вы придумать определение для жизни клетки? Вот что это такое?

Если вы начали выстраивать в уме какую-то громоздкую конструкцию, то сделали это напрасно. Определение предельно простое. Жизнь клетки – это период от одного деления до другого, миг между прошлым и будущим делениями.

Все, что делается в клетке, является подготовкой к делению. Новорожденная клетка растет, развивается, вырабатывает различные вещества (в том числе ДНК и белки), накапливает запасы, которые будут переработаны в энергию – деление, если кто не в курсе, весьма затратный процесс. Период индивидуальной жизни клетки состоящий из подготовки к делению и самого деления, называют клеточным циклом, а период между двумя делениями называется интерфазой.

КЛЕТОЧНЫЙ ЦИКЛ = ИНТЕРФАЗА + ПЕРИОД ДЕЛЕНИЯ

Безъядерные клетки делятся относительно просто. Мы поговорим об этом после того, как познакомимся с делением клеток, имеющих ядро. Давайте-ка повторим, что безъядерные клетки называются прокариотами, а имеющие ядро – эукариотами. Грекам проще запоминать подобные названия. Они не спутают «доядерные» клетки с теми, у которых «с ядром хорошо» (именно так переводятся слова «прокариоты» и «эукариоты»). Вы же можете использовать вот такой мнемотехнический прием. Э-У-КАРИОТЫ – Это-У них-КАРИОТЫ (то есть – ядра). ПРО-КАРИОТЫ – ПРОблема у них с КАРИОТАМИ.

Деление эукариот будет посложнее Марлезонского балета. К тому же мы познакомимся с двумя вариантами деления – «равноценным», при котором обе дочерние клетки получают от материнской по полному набору хромосом, и «половинчатым», при котором у дочерних клеток оказывается только половина материнских хромосом. Но пугаться не нужно! Мы разберемся со всеми сложностями играючи, без напрягов и скуки.

Как вы думаете, что обозначают эти буквы и цифры – «G1-S-G2»? Тайный код или секретный пароль биологов? Марка супермикроскопа? Имя гена?

Вариантов может быть много, но на самом деле это формула жизни клетки или формула интерфазы, которая состоит из трех периодов.

Первый период – это период начального роста, который также называют G1-периодом (название произошло от английского слова «gap» – промежуток). В этом периоде в клетке вырабатываются матричные РНК, которые служат матрицами для синтеза белков в рибосомах, а также вырабатываются белки и другие нужные вещества, включая и АТФ.

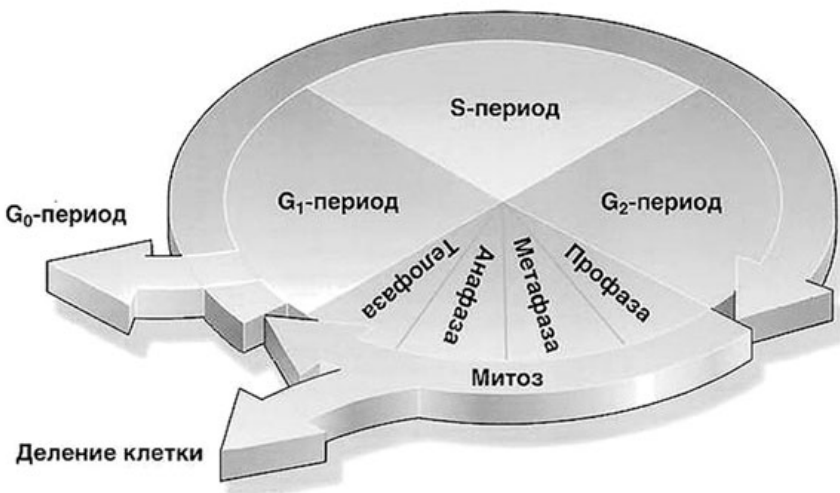
Второй период – это период синтеза или S-период (название произошло от английского слова «synthesis» – синтез). Наверное, вас удивило такое название, потому что в первом периоде синтеза тоже было предостаточно, ничем другим, можно сказать, клетка не занималась. Но дело в том, что во втором периоде начинается Синтез с большой буквы – удвоение молекул ДНК, хранящихся в клеточном ядре. Обратите внимание на то, что хромосомы удваиваются вне зависимости от того, какой набор хромосом – полный или половинчатый – получат клетки, образующиеся в результате деления.

По длинным молекулам ДНК ползут молекулы фермента ДНК-полимеразы, считывают информацию и по ней собирают копию… Клетка при этом продолжает функционировать в обычном режиме, одновременно с синтезом молекул ДНК идет синтез других веществ, но он не имеет такого значения как

копирование наследственного материала.

К слову – о генах. Выше уже было сказано о том, что геном называется участок молекулы ДНК, определяющий один отдельный признак. Можно дать и другое определение, более точное – геном называется участок молекулы ДНК, кодирующий синтез одного отдельного белка. Все признаки белковых организмов, к которым имеем честь принадлежать и мы с вами, определяются белками. Один белок окрашивает радужную оболочку в карий цвет, а другой – в голубой. И так далее…

Во втором периоде также происходит удвоение центриолей, играющих очень важную роль в процессе деления клетки. После того, как в клетке образуется двойной комплект ДНК и центриолей, начинается третий период интерфазы, который называется постсинтетическим (послесинтетическим) периодом или G2-периодом. В этом периоде продолжается подготовка клетки к делению – вырабатываются белки, АТФ и прочие вещества.



Периоды клеточного цикла ($2n$ – диплоидный набор хромосом, $2c$, $4c$ – количество хроматид в наборе)

Давайте остановимся подробнее на периоде Синтеза с большой буквы, ведь это самый важный период интерфазы.

Посмотрите на рисунок и обратите особое внимание на кружочки с буквами и цифрами. Что такое 2n, вам уже известно – так обозначается полный или, как говорят биологи, диплоидный набор хромосом.

Вы не заметили на рисунке никакой ошибки?

Во всех периодах интерфазы, включая и постсинтетический

период, клетка имеет диплоидный набор хромосом. Но ведь это же неверно! В последнем периоде интерфазы хромосом должно быть вдвое больше обычного, потому что каждая хромосома – это молекула ДНК. Если во втором периоде произошло удвоение молекул ДНК, то надо писать не 2n, а 4n!

Четверка в конце второго периода появляется, но не там, где нужно. И что вообще обозначает буква с? Почему сначала у нас, то есть – в клетке было 2с, а после второго периода стало 4с?

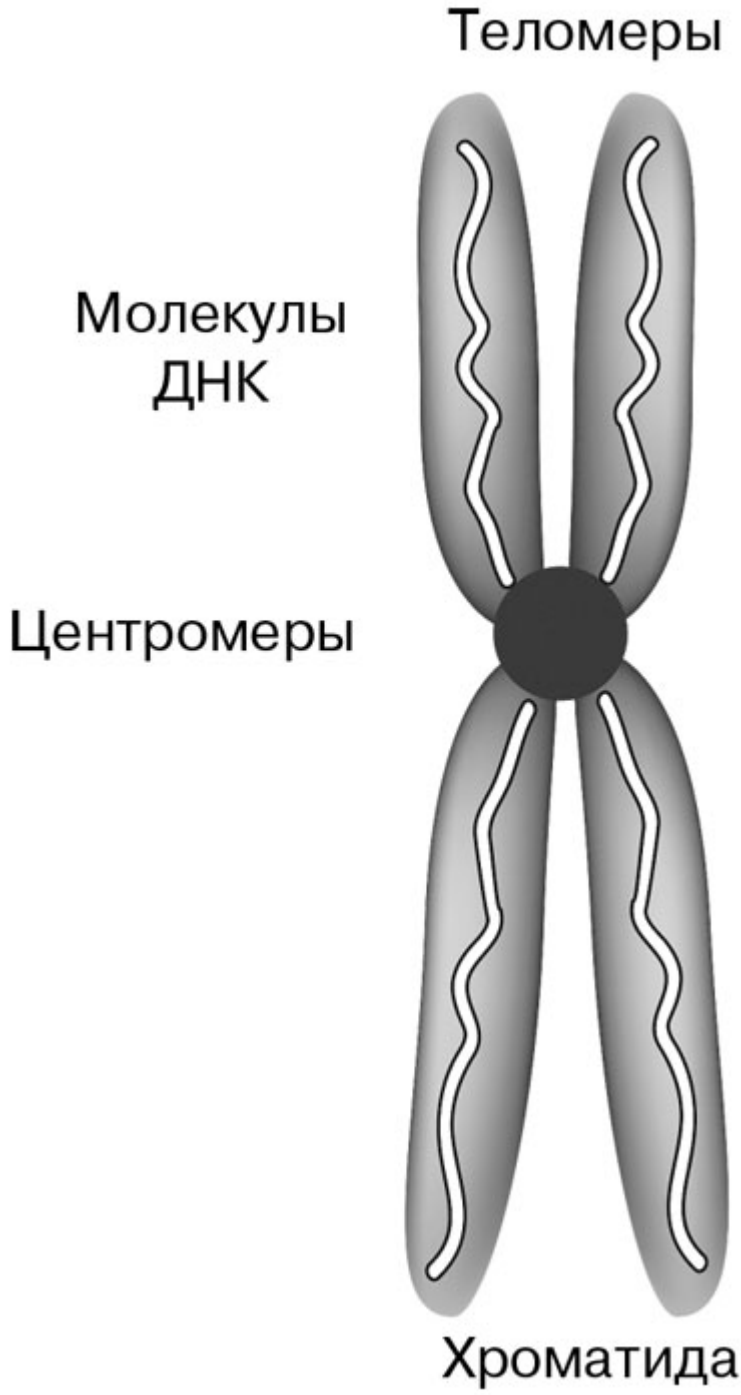
Если честно, то никакой ошибки на рисунке нет. Буквой с обозначается половинный или гаплоидный набор хроматид (число с соответствует числу n), а 2с – это диплоидный набор хроматид.

Не путайте хроматиды и хромосомы! Хроматидой называют структурный элемент хромосомы, сформировавшийся в периоде синтеза интерфазы в результате ее удвоения. Грубо говоря – состояла хромосома из одной хроматиды, одной молекулы ДНК, а в период синтеза стала «двойной». Молекул ДНК – две, то есть хроматид – две, но хромосома при этом одна. Потому и пишем – 2n4c.

Напрашивается закономерный вопрос – зачем так усложнять? Ясно же, что в конце концов, при делении клеток, двойные хромосомы станут одинарными и разойдутся по дочерним клеткам. Писали бы сразу – 4n. Зачем вообще выдумывать хроматиды?

Затем, что наука любит точность. Пока хромосома, пускай даже и удвоившаяся, не распалась на две половинки, она считается одной хромосомой. Но с двумя хроматидами. И если студент скажет на экзамене, что в период синтеза удваивается количество хромосом, то он на 99 % получит «неуд», потому что удваивается количество хроматид.

В период синтеза молекулы ДНК меняют имя. Раньше они назывались хромососмами (1 хромосома – 1 молекула ДНК), а теперь называются хроматидами. Две хроматиды одной хромосомы связаны между собой в участке, который называется центромерой. Связаны до поры до времени, до тех пор, пока не начнут расходиться по дочерним клеткам.



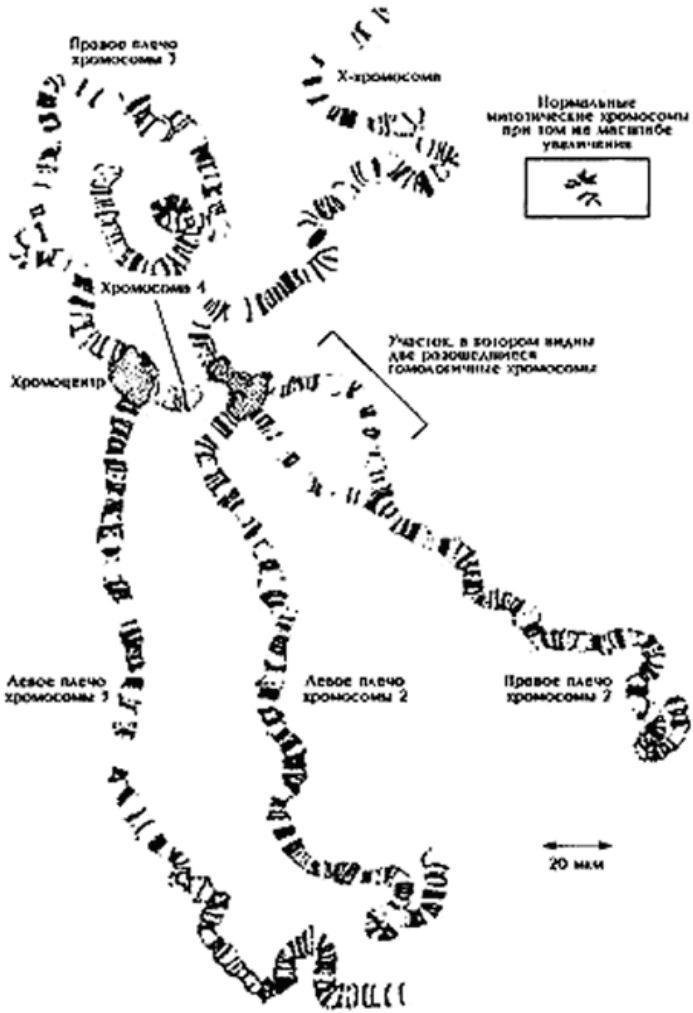
Компоненты хромосомы в конце профазы митоза*: 1. хроматида; 2.* центромера

Идентичные хроматиды, содержащиеся в одной хромосоме, называют сестринскими хроматидами.

Характерным признаком клетки в период интерфазы является пребывание хромосом в раскрученном состоянии, которое по-научному называется деспирализацией. Нити хромосом равномерно распределены по всему ядру в виде рыхлой массы. К концу интерфазы хромосомы, уже ставшие «двойными», продолжают иметь вид вытянутых нитей. Но скоро все изменится!

Следите за новостями!

Деление близко!



Хромосомы в интерфазе

Что нужно для правильного деления клетки?

Нужно разделить поровну хромосомы, ставшие двухроматидными в период синтеза, и цитоплазму со всеми органеллами. Но если вдруг одна дочерняя клетка получит на десять или даже на сто митохондрий больше, чем другая, то никакой беды обеим клеткам от этого не будет, как и от «нечестного» деления рибосом. Но вот если хромосомы разделятся между клетками не поровну, то будет беда. Большая беда!

Самым распространенным и известным нарушением числа хромосом у человека является синдром Дауна, при котором к 21-ой паре хромосом добавляется еще одна хромосома. Этот синдром получил название в честь впервые описавшего его в 1866 году английского врача Джона Дауна, но причина синдрома, связанная с врожденным изменением количества хромосом, была выявлена только в 1959 году.

На первый взгляд может показаться, что много – это не мало. Недостаток одной хромосомы может приводить к дефициту закодированных в ней белков, которые будут синтезироваться с одной матрицы ДНК вместо двух. Недостаток чего-то в организме всегда создает проблемы. Но лишняя молекула ДНК вроде бы не должна создавать проблем…

Вроде бы не должна, но создает, причем довольно крупные. Для синдрома Дауна характерно более 30 специфических признаков, проявляющихся с различной частотой. Начиная с умственной отсталости и заканчивая врожденным лейкозом – злокачественным заболеванием кроветворной системы.

Почему одна лишняя матрица для кодирования белков, вызывает столь многочисленные и разнообразные отклонения от нормы? Дело в том, что наш организм, как и вообще любой живой организм, представляет собой тщательно сбалансированную систему. Баланс – основа нормальной жизнедеятельности и любое его нарушение чревато негативными последствиями.

Каждая хромосома «обслуживается» комплексом белков и ферментов, которые обеспечивают считывание информации с молекулы ДНК для синтеза РНК, а также обеспечивают синтез белков на базе РНК-матриц.

Давайте представим дом, в котором живут сорок шесть семей (по числу хромосом). У каждой семьи есть кухарка, которая готовит еду и горничная, которая следит за порядком. А еще в доме живет дворник, который подметает двор и следит за тем, чтобы все коммуникации в доме функционировали нормально.

Дом – это клеточное ядро.

В один несчастливый день алчный домовладелец вселяет в квартиру к дворнику еще одну семью. Невелика шишка –

дворник, он и в прихожей спать может или, скажем, в подвале, а лишние жильцы – это дополнительная прибыль. Кухарку и горничную новым жильцам домовладелец не нанимает, считая, что имеющаяся в доме прислуга может обслуживать дополнительную семью по очереди. В нагрузку к своим основным обязанностям, так сказать.

Знакомая ситуация, верно? У вас на работе тоже было нечто похожее. Кого-то из коллег уволили, а их обязанности распределили по оставшимся. Разумеется – без увеличения заработной платы, ведь увольняли для того, чтобы сэкономить.

Что получится в результате? Ежедневно какая-то из семей-старожилов будет страдать, потому что их прислуге придется «работать на два фронта». Обслуживая две семьи вместо одной, и кухарка, и горничная будут выполнять свои обязанности кое-как, наспех. Завтрак запоздает, на обед вместо трех блюд будет подано два, а про ужин кухарка впопыхах может вообще забыть. Горничная вместо нормальной уборки ограничится сдуванием пыли с самых заметных мест и протиркой полов в центральных частях комнат. И так по кругу, каждый день в каком-то из семейств старожилов…

О том, каково придется новым жильцам, лучше вообще не думать. Их будут обслуживать кое-как, поскольку для прислуги они являются обузой. Да и дворник будет постоянно высказывать им свое недовольство, а в знак протеста станет халатно относиться к своим обязанностям. В результате трубы в доме начнут протекать, в электропроводке часто будут случаться замыкания, чистый двор превратится в грязный… Бизнес алчного домовладельца может серьезно пострадать из-за подобной экономии.

Точно так же страдает жизнедеятельность всего организма из-за появления одной дополнительной хромосомы. Лишняя хромосома есть, а сил средств на ее «обслуживание» нет и проигнорировать ее организм не может, потому что он на такое не запрограммирован. Всю имеющуюся информацию нужно считывать – и точка!

В результате возникает дисбаланс, начинаются сбои в считывании информации с молекул ДНК. Одни белки совсем не синтезируются, а другие синтезируются с ошибками и весь этот непорядок приводит к тому, что организм развивается и функционирует не так, как положено.

Но давайте вернемся к делению, которое вот-вот должно начаться.

Сначала мы разберем способ деления эукариотических клеток, при котором каждая из двух образующихся клеток

получает диплоидный набор хромосом. Такое деление называется митозом.

Деление всегда значительно короче интерфазы. Митоз составляет около 5 % интерфазы. Можно сказать, что клетки долго запрягают, но быстро ездят, то есть – быстро делятся. И это правильно – чего тянуть с хорошим делом?

Если интерфаза делилась на периоды, поскольку сама была фазой, то каждый этап деления клетки представляет собой отдельную фазу. Обратите внимание на то, что речь идет о фазах деления эукариотической клетки, а не о фазах митоза. У следующего вида деления, которое называется мейозом, фазы будут точно такими же, причем и митоз, и мейоз будут заканчиваться на пятой фазе, а всего фаз шесть.

Голова пошла кругом? Не волнуйтесь, все будет хорошо. Опять же, вам экзаменов сдавать не нужно, вы просто хотите узнать, как делятся клетки.

Запомните фразу: «профессор просит метлу, а не телегу цитрусов».

Это не скороговорка, а волшебная фраза, которая поможет вам запомнить названия фаз клеточного деления и порядок их следования.

Первая фаза называется профазой (ПРОФЕССОР) – предшествующей, то есть – начальной фазой. В профазу происходят следующие процессы:

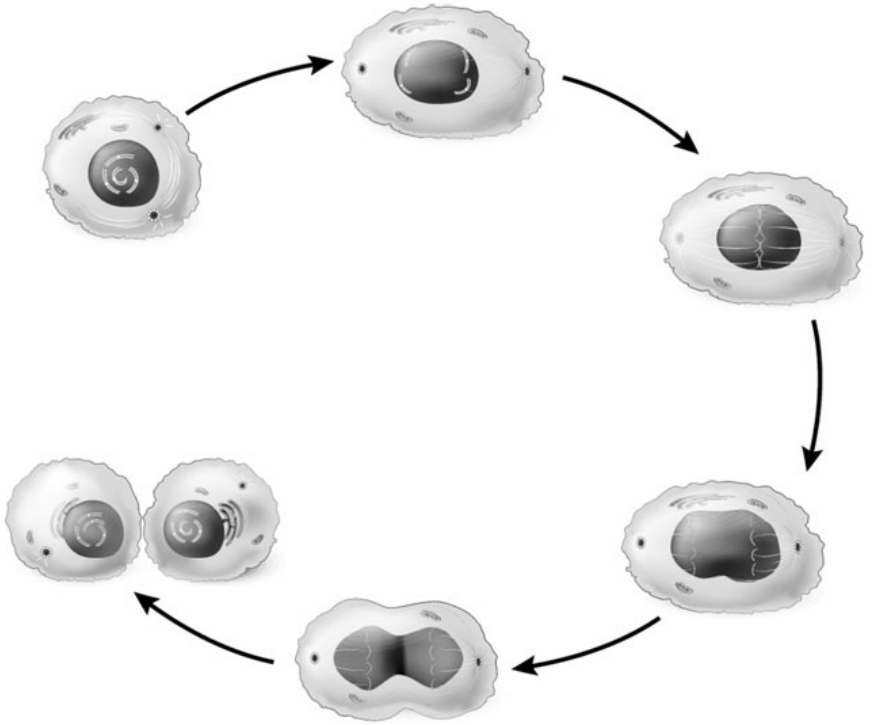
– нити хроматид закручиваются в спираль, отчего «потолстевшие» хромосомы становятся видимыми в микроскоп;

– ядрышки растворяются;

– центриоли расходятся к полюсам клетки;

– из микротрубочек формируются нити, которые протягиваются от центриолей к ядру.

Совет – если вы хотите получше все представить и запомнить, то по мере чтения делайте рисунки, отражающие изменения, происходящие в делящейся клетке.



Митоз

Вторая фаза деления называется прометафазой (ПРОСИТ), что переводится как «предшествующая метафазе». В прометафазу полностью растворяется ядерная оболочка, хромосомы выходят на свободу и к их центромерам прикрепляются свободные концы нитей, тянущихся от центриолей. Вся эта конструкция «центриоли – нити – хромосомы» по виду напоминает веретено и потому называется «веретеном деления».

К каждой центромере прикрепляется по одной нити от разных центриолей. После удвоения молекул ДНК, хромосомы не распадаются сразу же для того, чтобы в прометафазе не возникло бы путаницы, чтобы каждая дочерняя клетка получила бы по одной хромосоме из пары, связанной центромерой. Если же такой парной группировки не будет, путаница неизбежно возникнет.

Третья фаза – это метафаза (МЕТЛУ), что переводится как «промежуточная фаза». В метафазу хромосомы выстраиваются на условном экваторе клетки и распадаются надвое. С этого момента количество хромосом в клетке можно считать удвоившимся. Хромосомы снова состоят из одной хроматиды и записывается все это богатство как 4n4c.

Четвертая фаза – это анафаза (А НЕ), что переводится как «фаза разделения». Однохроматидные хромосомы начинают

расходиться к полюсам клетки вследствие сокращения нитей веретена деления, нити подтягивают хромосомы к полюсам.

Пятая фаза называется телофазой (ТЕЛЕГУ), что переводится как «фаза удаления». В телофазу хромосомы достигают полюсов пока еще единой клетки и раскручиваются в нить, ядерные оболочки и ядрышки восстанавливаются, а нити веретена деления растворяются. Собственно митоз на этой фазе заканчивается, поскольку главное уже сделано – генетический материал поделен пополам, сформировалось два ядра. Осталось только разделить клетку с двумя ядрами на две клетки.

Митоз делится на пять фаз и заканчивается на телофазе, являющейся его заключительной фазой! Следующая, шестая фаза есть заключительная фаза деления клетки, но не митоза.

Во время шестой фазы – цитокинеза (ЦИТРУСОВ), что переводится как «движение клеток», клеточная мембрана в средней части клетки (то есть, на условном экваторе) начинает втягиваться внутрь. Образующаяся при этом борозда деления углубляется до тех пор, пока не дойдет до узкого остатка веретена деления, расположенного между двумя ядрами и представляющего собой нечто вроде соединяющего их мостика. Этот «мостик» называется остаточным тельцем. После разрушения остаточного тельца образуются две полностью разделенные дочерние клетки.

Скажем еще раз про хромосомы и хроматиды, чтобы навсегда запомнить и не путаться.

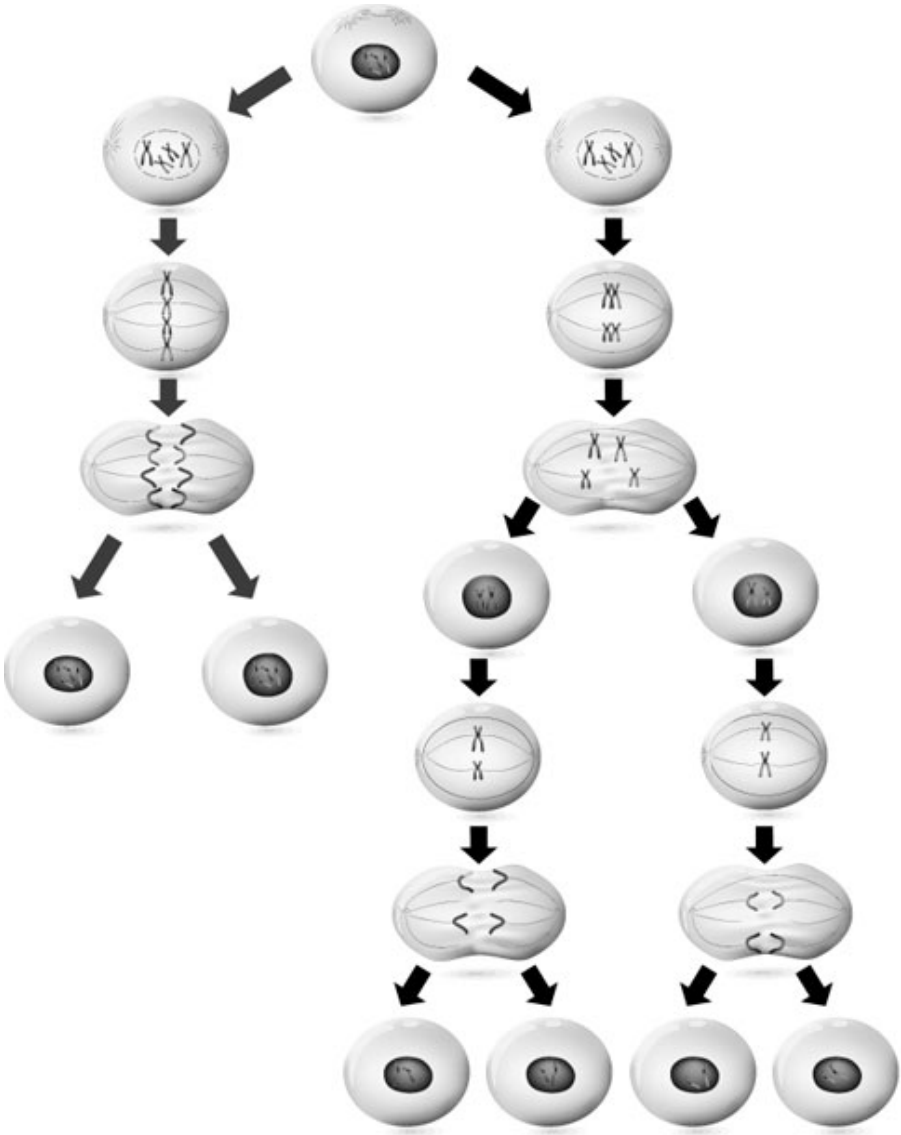
В результате митоза из одной диплоидной клетки, имеющей двухроматидные хромосомы и удвоенное количество ДНК – 2n4c, образуются две дочерние диплоидные клетки с однохроматидными хромосомами и одинарным количеством ДНК (2n2c).

ПРОФЕССОР ПРОСИТ МЕТЛУ, А НЕ ТЕЛЕГУ ЦИТРУСОВ

Профаза – Прометафаза – Метафаза – Анафаза – Телофаза – Цитокинез.

С митозом мы закончили. Переходим к мейозу.

Процесс деления клеток, в результате которого не происходит удвоения числа хромосом в материнской клетке (то есть дочерние клетки получают по половинному набору хромосом), называют мейозом. Название это происходит от греческого слова «мейозис», означающего «уменьшение». В процессе мейоза из одной диплоидной клетки (2n) образуются две гаплоидные с половинным количеством хромосом (1n). Путем мейоза образуются половые клетки, по-научному называемые гаметами.



Мейоз

Мейоз наблюдается только у эукариот, обладающих половым процессом, ведь при бесполом размножении половые клетки совершенно не нужны.

Мейоз проходит в два этапа. Особенность первого этапа мейотического деления клеток заключается в том, что несмотря на имеющее место удвоение числа хроматид, хроматидные пары в процессе деления не разделяются надвое, дочерние клетки получают от материнской двухроматидные хромосомы, скрепленные центромерами.

Не очень-то понятна суть происходящего, верно?

Давайте вникнем в эту суть.

У человека 46 хромосом, разбитых на 23 пары.

Во время первого этапа мейоза (как и во время митоза) хромосомы «удваиваются». В каждой паре теперь две «двойных» хромосомы.

При митозе «двойные» хромосомы распадаются и в дочерние клетки из уходит по одной копии каждой молекулы ДНК, полный набор уходит. Иначе дочерние клетки не смогут жить и долго готовиться к следующему делению.

При мейозе хромосомные пары разбиваются. В дочерние клетки уходит по две одинаковые хромосомы из каждой пары.

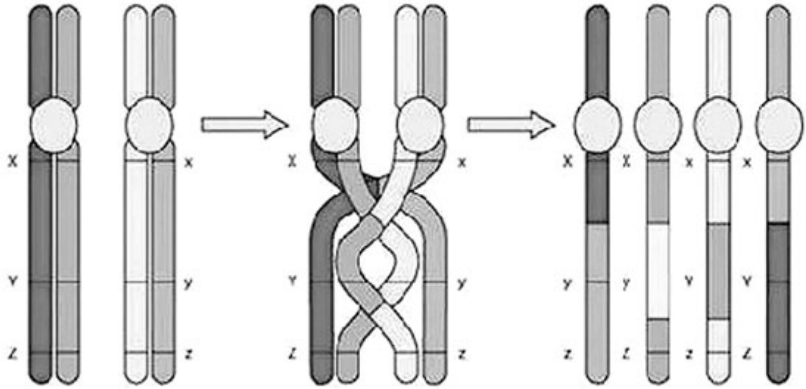
Возьмем для примера первую пару хромосом и обозначим эти хромосомы как 1-1 и 1-2. При митозе каждая дочерняя клетка получит и 1-1-хромосому, и 1-2-хромосому, а после первого этапа мейоза в каждой из дочерних клеток окажутся две 1-1-хромосомы или две 1-2-хромосомы. Количество хромосом будет правильным – 46, а вот полноценных пар здесь нет, набор хромосом – одинарный, гаплоидный, но удвоенный. Образно говоря, вместо «двуполых» пар в «дочках» первого этапа мейоза находятся однополые пары.

Неверно считать хромосомы только лишь хранилищем наследственной информации. Хромосомы представляют собой самостоятельно функционирующие биологические структуры. Фактически это органеллы.

В профазе первого этапа мейоза парные хромосомы, каждая из которых уже состоит из двух хроматид, сближаются и на некоторое время объединяются друг с другом, образуя четыреххроматидный комплекс. Этот процесс называют конъюгацией. Во время конъюгации из-за синхронных разрывов в цепочках ДНК между гомологичными хромосомами может происходить кроссинговер[21] – взаимный обмен участками, причем участками строго равноценными, полностью идентичными по набору генов. В результате хромосомы, унаследованные от материнского и отцовского организмов, получают гены, ранее принадлежащие противоположному полу. Происходит «перекрест» в результате которого в хромосомах появляются новые комбинации наследственных признаков.

Кроссинговер – жизненно важное и весьма полезное качество. Кроссинговер увеличивает генетическое разнообразие, а генетическое разнообразие способствует более качественному приспособлению организмов и видов в целом к постоянно изменяющимся условиям окружающей среды. Проще говоря, всегда есть вероятность того, что новое сочетание генов, возникшее в результате «перекрестного обмена» окажется более

выгодным.



Кроссинговер

Чем лучше выражено генетическое разнообразие, тем лучше приспособляемость.

Чем лучше приспособляемость, тем выше выживаемость.

Да здравствует кроссинговер!

Природа заложила в кроссинговер ограничительный механизм, препятствующий чрезмерно бурному течению этого процесса. Существует такое явление, как интерференция – кроссинговер, происходящий в одном месте хромосомы, подавляет кроссинговер в близлежащих сегментах.

После открытия кроссинговера было принято считать, что при этом процессе рекомбинация осуществляется между генами, но сам ген кроссинговером не разделяется. Ген считался единицей кроссинговера. Хромосому представляли похожей на длинную нить с нанизанными на нее бусинами-генами. При кроссинговере эта нить рвалась только там, где на ней не было бусин. Бусины же оставались целыми.

Впоследствии оказалось, очень редко, примерно в 10 000 раз реже обычного кроссинговера, оставляющего гены целыми, происходит «внутригенный» кроссинговер. Правда, ни к чему плохому он не приводит, потому что даже при разрыве гена обмен участками бывает строго равноценным. Как бы ни протекал кроссинговер, где бы ни разрезались молекулы ДНК, на количестве генов в хромосоме этот процесс не сказывается. Разрезанный ген не «портится», он просто обновляется.

Вот грубый пример. Вася и Ваня носят одежду одинакового размера. Если им захочется обменяться костюмами, то они могут обменять как пиджаки вместе с брюками, так и только брюки или только пиджаки. Но каким бы ни оказался обмен, у каждого будет

пиджак и будут брюки, полуодетым никому разгуливать не придется.

Кроссинговер также может наблюдаться и во время митотических делений, вернее он происходит не при делении как таковом, а в течение интерфазы, во время подготовки клетки к следующему делению. Митотический кроссинговер достался нам по наследству от одноклеточных предков, которые размножались бесполым делением. При бесполом размножении митотический кроссинговер увеличивает генетическое разнообразие в будущих поколениях точно так же, как делает это мейотический кроссинговер при половом размножении.

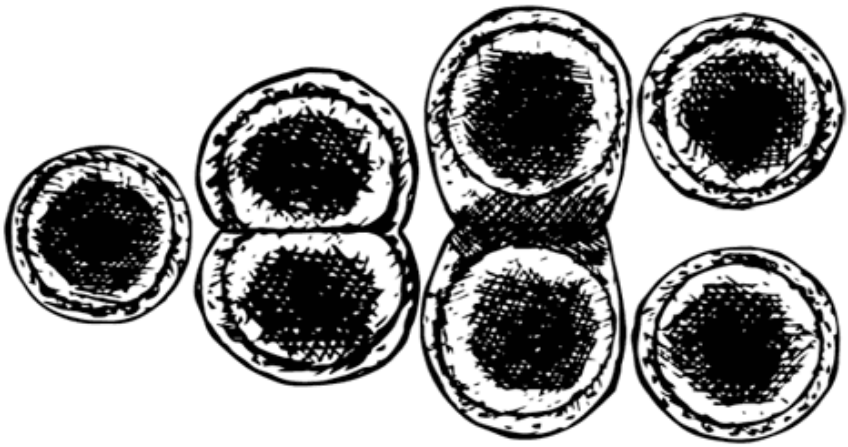
С кроссинговером мы закончили, возвращаемся к мейозу.

По окончании первого этапа мейоза практически сразу же начинается второе деление, перед которым удвоения числа хромосом не происходит (потому-то его можно начинать без подготовки). В результате второго деления дочерние клетки получают по одному гаплоидному набору хромосом, а в результате всего мейоза в целом из одной материнской клетки с полным набором хромосом образуются четыре дочерних клетки с половинным набором хромосом. Биологическая сущность мейоза состоит в уменьшении числа хромосом вдвое для того, чтобы зигота наследовала признаки как от отцовского, так и от материнского организмов, и могла бы нормально функционировать. Если бы половые клетки обладали бы полным, диплоидным набором хромосом, то у клетки, образовавшейся в результате их слияния в процессе оплодотворения оказалось двойное количество хромосом, что сделало бы клетку нежизнеспособной (мы недавно говорили о том, сколько проблем создает одна-единственная лишняя хромосома).

Особенности мейоза не ограничиваются отсутствием удвоения числа хромосом в короткой интерфазе второго этапа. Кроме этого для мейоза характерны очень длинная профаза первого этапа (например, у человеческих сперматозоидов она растягивается на несколько суток, а у человеческих яйцеклеток – на много лет) и отсутствие кроссинговера в профазе второго этапа.

Клетки эукариот могут делиться и простым способом, при котором происходит разделение ядра надвое без образования веретен деления. Такое «прямое» деление называется амитозом («не митозом»). Поскольку веретена деления не образуются, наследственный материал распределяется между ядрами случайным образом. Цитокинеза (разделения клетки) при амитозе не происходит, делится только ядро. В результате образуются двуядерные, а при повторных амитозах –

многоядерные клетки. Амитоз – редкое явление, характерное для стареющих клеток с пониженной активностью.



Амитоз

Деление прокариотических клеток, не имеющих ядра, обеспечивает септальное кольцо – кольцевидная белковая органелла, расположенная посередине клетки. Эта органелла способна сокращаться, ее можно сравнить с мышцей. При ее сокращении образуется перетяжка, делящая клетку на две дочерние клетки. После того, как перетяжка полностью сформирована, участок, соединяющий мембраны дочерних клеток, разрушается особым ферментом и клетки полностью отделяются друг от друга.

Как при этом делится наследственный материал?

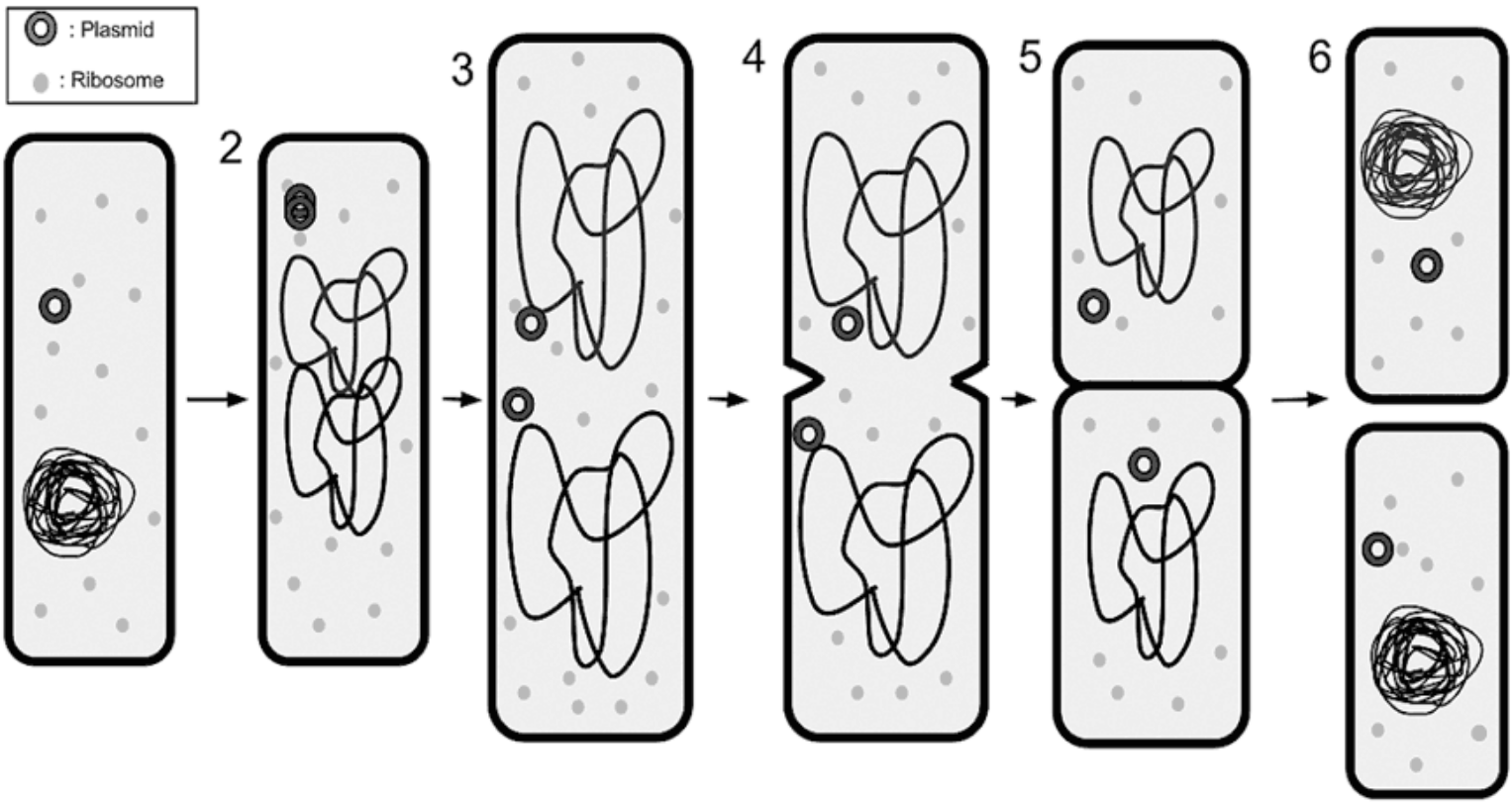
Одна-единственная хромосома (молекула ДНК), обычно имеющая форму кольца, копируется до начала процесса деления и каждая из дочерних клеток получает по хромосоме. При дележке двух хромосом можно спокойно обойтись без веретена деления. Копирование ДНК происходит в месте формирования перетяжки. Молекула ДНК разделяется на две нуклеотидные цепочки, каждая из которых прикрепляется к внутренней поверхности клеточной мембраны. Молекулы фермента ДНК-полимеразы достраивают на каждой из цепочек недостающую парную цепочку. Таким образом, образуются две молекулы ДНК, каждая из которых содержит одну «старую» и одну вновь синтезированную нуклеотидную цепочку.

«Стоп! – скажут сейчас особо вдумчивые читатели. – Что это за волшебство получается? Молекулы ДНК-полимеразы достраивают на каждой из двух цепочек ДНК недостающие

цепочки, но откуда они берет информацию о том, что именно нужно строить? Ползают по одной цепочке, но строят другую – как такое может быть?».

Может! Дело в том, что фрагменты цепочек одной молекулы ДНК, расположенные друг против друга, являются комплементарными. Комплементарностью называется взаимное соответствие молекул биополимеров[22] или их фрагментов. Условно говоря, напротив фрагмента А будет находиться фрагмент Б, а напротив фрагмента В – фрагмент Г и никак иначе. Молекула ДНК-полимеразы определяет, какой фрагмент находится перед ней, и подбирает ему комплементарную пару.

Завершение копирования ДНК служит сигналом для начала формирования перегородки между дочерними клетками. При этом клеточная мембрана словно бы врастает между образовавшимся молекулами ДНК, разделяя их по разным клеткам. Таким образом исключается возможность попадания двух хромосом в одну дочернюю клетку.


: Plasmid
: Ribosome
2
3
4
5
6

Деление прокариот

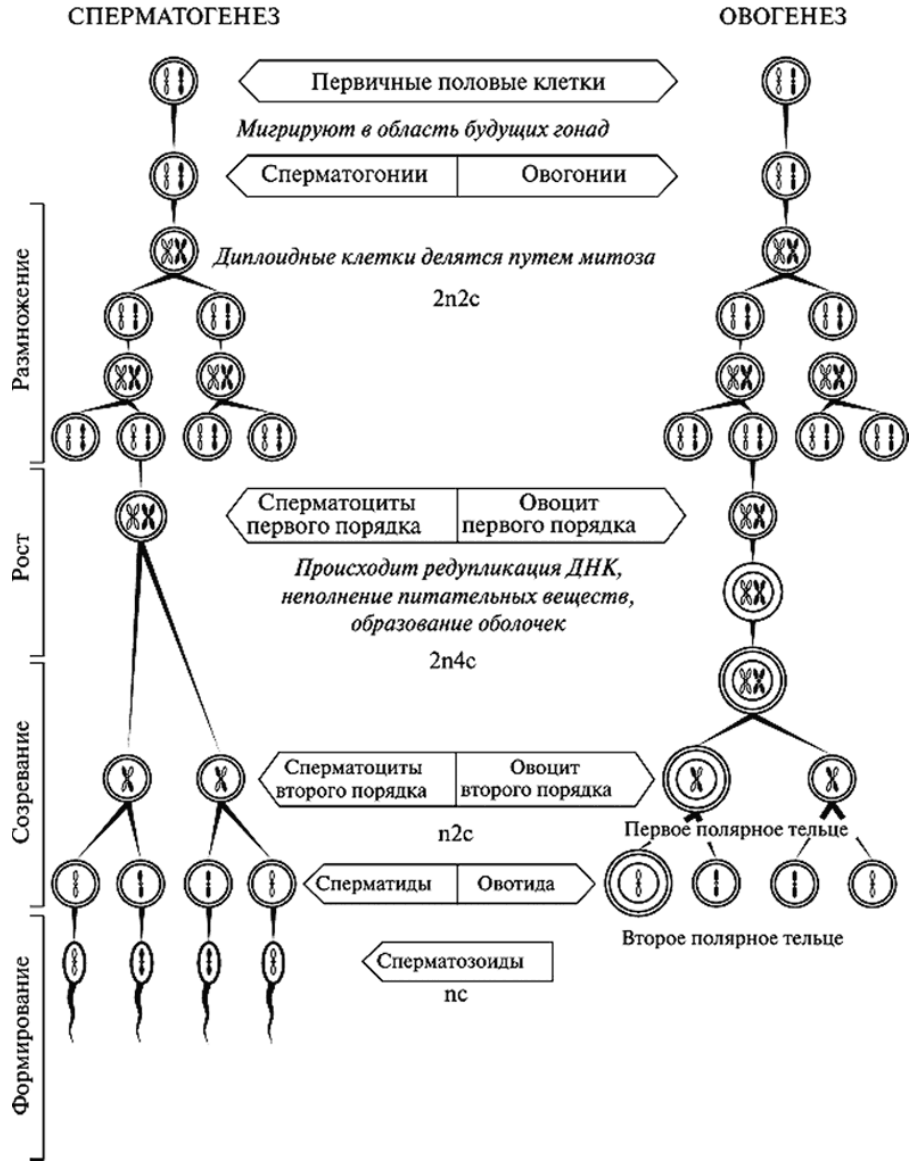
Вот вам коварный вопрос.

Если из одной диплоидной клетки-родителя в результате мейоза образуется 4 сперматозоида, то сколько яйцеклеток образуется из одной клетки-родительницы?

Вопрос не идиотский, как может показаться на первый взгляд, а коварный.

Правильный ответ – 1.

Да, всего одна-единственная яйцеклетка вместо четырех.



Сперматогенез и оогенез

Дело в том, что яйцеклетке, в отличие от сперматозоида, нужно после оплодотворения делиться, причем весьма активно. Для осуществления любого процесса требуются исполнители и энергетические ресурсы. И то, и другое находится в цитоплазме, поэтому было бы нерационально делить цитоплазму со всем ее содержимым поровну между всеми четырьмя яйцеклетками. В результате такого равноценного деления получатся четыре «недояйцеклетки», не способные к активному размножению. Поэтому на обоих этапах мейоза почти вся цитоплазма остается в одной из клеток, а ее напарницы, называемые «полярными те́льцами» служат только для того, чтобы «унести» ненужную половину хромосом. Образно полярные тельца можно сравнить с мусорным ведром, в которое выбрасываются ненужные хромосомы.

На рисунке изображены процессы образования сперматозоидов (сперматогенез) и яйцеклеток (оогенез).[23] Посмотрите и сравните конечный результат – одинокая яйцеклетка против дружной четверки сперматозоидов.

Первые клетки, от которых пошло все живое на нашей планете, размножались бесполым способом. Так, во всяком случае, принято считать сейчас.

Бесполое размножение имеет ряд преимуществ.

Во-первых, бесполое размножение экономичнее. При нем не надо тратить энергию на поиски партнера и терять впустую большое число половых клеток. Во время полового акта у человека к яйцеклетке одновременно устремляется не менее сорока миллионов сперматозоидов! Сорок миллионов! А в оплодотворении участвует всего один! Оцените масштаб потерь.

Во-вторых, бесполое размножение происходит быстрее. Быстрота выгодна. Недаром же великая русская поэтесса Марина Цветаева сказала, что «успех – это успеть». Успеть размножиться и захватить новый ареал обитания… Успеть размножиться пока не съели враги… И так далее.

В-третьих, при бесполом размножении все дочерние особи с генетической точки зрения практически полностью идентичны материнской особи. Изменения в генотипе происходят редко (кроссинговер или отдельные мутации), следовательно – вероятность генетических отклонений от нормы мала.

Так почему же природа в ходе эволюции перевела подавляющее большинство животных и высших растений на половое размножение?

Этот вопрос можно сформулировать иначе – почему особи,

размножающиеся половым путем, оказались более жизнеспособными и широко распространились по планете?

Куда не взгляни – повсюду происходит половой процесс. Неспроста же так… У природы, как известно, нет плохой погоды и невыгодных действий. Так в чем же заключается выгода полового размножения?

В регулярных изменениях генотипа она заключается. Всякий раз, когда сперматозоид оплодотворяет яйцеклетку, образуется особь с уникальным набором генов, а, соответственно, и признаков!

Регулярные изменения генотипа дают множество вариантов. Среди этих вариантов, то есть – среди родившихся в результате оплодотворения сперматозоида яйцеклеткой, всегда найдутся особи, лучше других приспособленные к условиям окружающей среды. Разумеется, будут и такие, которые приспособлены хуже, ведь у любой медали есть две стороны. Но дело не в сторонах, а в том, что выживают и дают больше потомства те особи, которые приспособленные к условиям окружающей среды лучше других. Конкуренция в природе повсюду и везде, это неотъемлемое качество живых организмов.

В конечном итоге, виды, размножающиеся половым путем, быстрее возникают адаптируются к постоянно изменяющимся условиям внешней среды.[24]

«К постоянно изменяющимся» – в этом-то вся соль. Условия внешней среды изменяются постоянно и неустанно. Если бы они не изменялись, то бесполое размножение было бы выгоднее полового. Приспособились один раз – и живем не тужим!

Призыв не прогибаться под изменчивый мир и ждать, пока он прогнется под нас, хорош для песни, но для реальной жизни он не годится. Никогда эта изменчивая окружающая среда не «прогнется» под нужды и чаяния отдельного организма или группы организмов. У организмов нет выбора. То есть, формально говоря, он есть – приспосабливайся или погибай, но что это за выбор?

«Изменяйся вместе со средой, старайся приспособиться к ней как можно лучше!» – вот единственный призыв эволюции и половое размножение соответствует ему как нельзя лучше.

В животном мире, к которому мы с вами имеем честь принадлежать, преобладает раздельнополость особей – существуют самцы и самки, два типа организмов, четко различающихся в половом отношении. Причем эти различия касаются не только половых органов, а всего организма в целом. Самцы и самки различаются по конституции (внешнему виду), по обмену веществ, по поведению и т. п. В растительном мире

напротив, преобладает гермафродитизм – одновременное или последовательное наличие у организма мужских и женских половых признаков и репродуктивных органов. Среди животных гермафродитизм в норме встречается редко, например – у некоторых видов червей, моллюсков и ракообразных.

Теперь вы знаете о делении клеток все, что вы **хотели знать, но боялись** спросить. Можно ставить точку.

Глава пятая. Биосистемы

Любой живой организм представляет собой биологическую систему. Так называют **структурную единицу живой материи**, **состоящую из разных элементов. Человек**, **кошка, дерево**, **бактерия** – **все это биологические системы или**, **сокращенно**, **биосистемы**.

Все живое на нашей планете представляет собой совокупность биологических систем различной степени сложности, которые объединены в единую иерархическую структуру. Обратите внимание на слово «иерархическую» – более простые биосистемы при своем объединении образуют более сложные. Не только отдельные живые организмы являются биосистемами. Понятие «структурная единица живой материи» гораздо шире и включает в себя совокупности живых организмов.

Знаете старую купеческую поговорку – «тысяча рублей – это не деньги, а капитал»? Имеется в виду, что крупная сумма денег представляет собой не только средство оплаты, но и «инструмент» для создания какого-то дела. Объединяясь, деньги становятся капиталом, приобретают ранее несвойственное им качество. Количество переходит в качество.[25] К месту можно вспомнить и притчу про отца, сыновей и веник. По отдельности прутики легко ломаются, но если собрать их вместе, то сломать не получится.

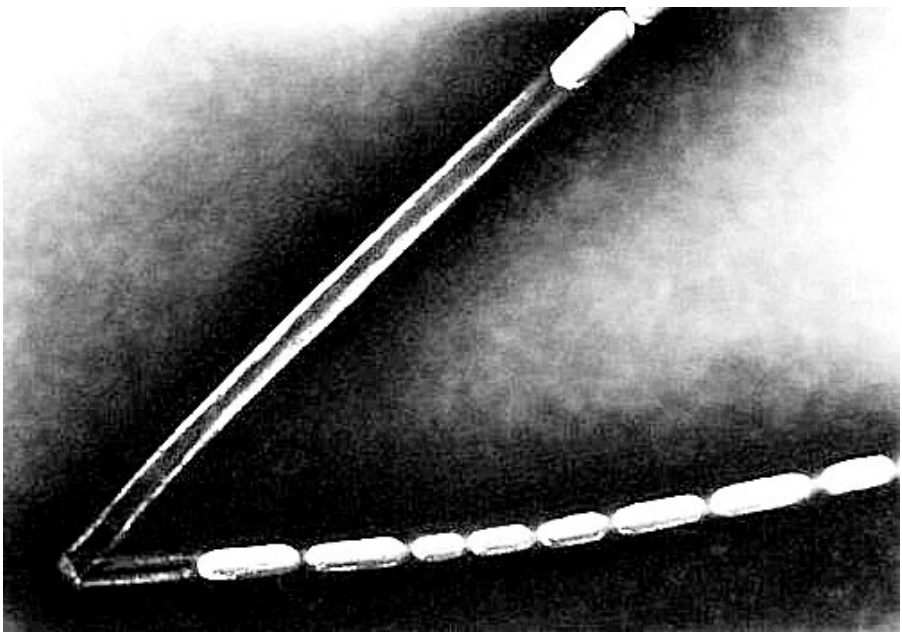
Свойства организма не являются простой совокупностью свойств составляющих его частей, а свойства сложной биосистемы не являются совокупностью свойств составляющих ее более простых биосистем. Кстати говоря, организм, даже одноклеточный, представляет собой сложную биосистему, состоящую из более простых биосистем. И если вы сейчас подумали о том, что в одноклеточном организме нет ничего сложного, то ошиблись – у любого одноклеточного организма есть клеточная мембрана, цитоплазма и молекула нуклеиновой кислоты, способная к самокопированию. Все это – простые биосистемы, объединенные (или объединившиеся, это уж кому как нравится) в более сложную.

Органеллы объединяются в клетки, клетки объединяются в ткани,[26] из тканей создаются органы, из органов – организмы, а организмы объединяются в группы – в семьи, в стаи, в популяции. Вот вам простейший пример – стая волков, благодаря взаимной поддержке и прочим преимуществам объединения может выжить в таких неблагоприятных условиях – сильные холода, скудное количество пищи, – в которых по отдельности волки выжить бы

не смогли. Точно так же и люди, объединяя свои усилия, делают такое, чего они не смогут сделать поодиночке (вспомним, хотя бы, египетские пирамиды). Свойства любой системы находится на более высоком качественном уровне, чем свойства ее составных частей.

Объединяться выгодно. В процессе эволюции происходит последовательное усложнение организации живой материи. При образовании нового уровня, предыдущий, более простой, уровень, входит в него в качестве составной части. Так одноклеточные организмы стали составными частями многоклеточного организма.

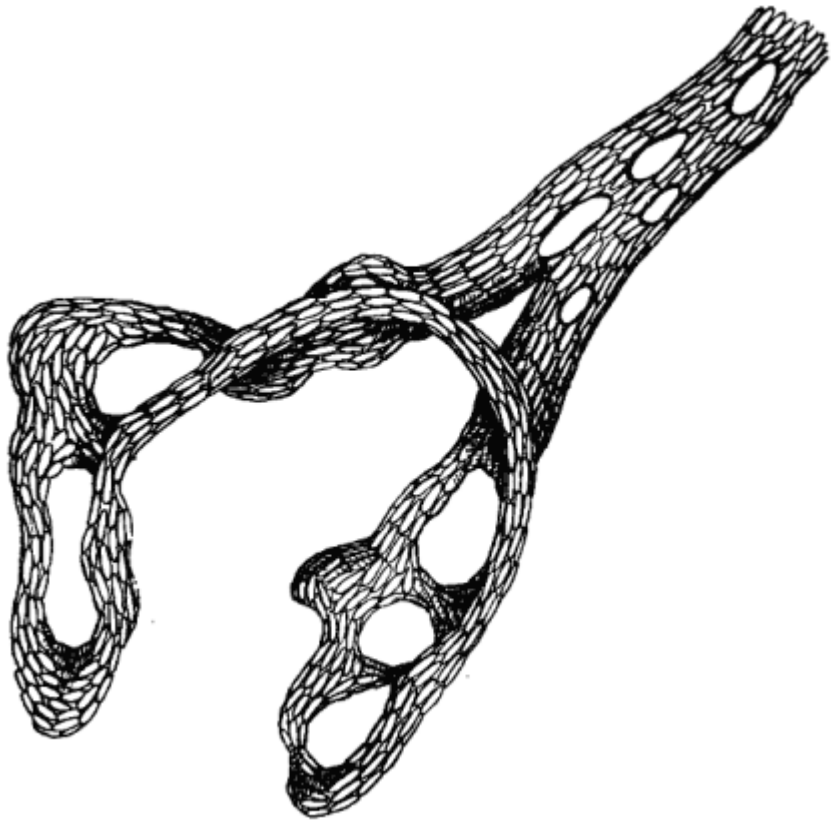
К слову будь сказано, что среди одноклеточных микроорганизмов встречаются и многоклеточные. Вернее – условно многоклеточные. Так, например, обитающие в воде нитчатые бактерии представляют собой нити длиной до одного сантиметра, состоящие из некоторого количества клеток, разделенных перегородками. Это не простое скопление микроорганизмов, а скопление с «намеком» на единый организм – нити, имеют общую оболочку из вырабатываемой клетками слизи, и способны к совершению скользящих движений!



Нитчатая бактерия Сфиротилус натанс (часть оболочки пуста)

Среди нитчатых бактерий есть и хищники, способные захватывать и переваривать другие микроорганизмы. На одном

конце таких нитей есть ловчее приспособление, напоминающее пасть.



«Голова» хищной бактерии Тератобактер

Клетки хищных нитчатых бактерий имеют общую внутреннюю среду – они соединены друг с другом чем-то вроде каналов. Такая связь образуется при незавершенном цитокинезе, когда остаточное тельце распадается, но полного смыкания сближающихся листков мембраны не происходит.

Последствия незавершенного цитокинеза

Но формально нитчатые бактерии рассматриваются не как цельный многоклеточный организм, а как колония, скопление

одноклеточных организмов.

По какому критерию колонию одноклеточных организмов отличают от многоклеточного организма? В колонии организмов нет дифференциации (разницы в строении) клеток, и, соответственно, нет разделения тела на ткани. Впрочем, этот критерий довольно условный. Так, например, в колониях вольвокса[27] наблюдается дифференциация клеток, но при этом вольвокс к многоклеточным организмам ученые не относят.

Давайте рассмотрим уровни организации жизни на нашей планете, начиная с самого простого.

Первый уровень – молекулярно-генетический. Любая система, вне зависимости от ее сложности, состоит из различных молекул. Слово «генетический» добавлено не случайно и не «выбивается из стоя» поскольку хранение и передача наследственной информации осуществляется молекулами ДНК или РНК.

У некоторых читателей может возникнуть вопрос – почему не начали с атомов? Ведь молекулы состоят из них и, кроме того, кое-какие атомы присутствуют в живых организмах.

Да – молекулы состоят из атомов, но у нас биологическая классификация, а биология изучает живые организмы. Отличие живой материи от неживой начинает проявляться только на уровне молекул, а не на уровне атомов. Сложные органические вещества (биополимеры) – белки, жиры, углеводы и нуклеиновые кислоты входят только в состав живых организмов, а вот атомы, из которых они состоят, широко распространены и в неживой материи. В основе любой живой системы лежит обмен веществ и энергии, представляющий собой синтез и распад биологических молекул.

Второй уровень – клеточный. Клетка, как вы уже знаете, является структурно-функциональной единицей всех живых организмов (вирусы с прионами держим в уме). Организмы могут быть одноклеточными и многоклеточными.

Уровни организации жизни

Клеточный уровень организации жизни – второй с начала, но жизнь начинает проявляться на этом уровне. Молекулы белков или нуклеиновых кислот нельзя называть живыми (прионы снова держим в уме).

Третий уровень – тканевый уровень. Давайте повторим, что

тканью называют совокупность клеток и межклеточного вещества, объединенных общностью происхождения, строения и выполняемой функции. В растительных организмах различают образовательные, основные, покровные, механические, проводящие и выделительные или секреторные ткани. В животных организмах четыре основных вида ткани: эпителиальная, мышечная, нервная и соединительная.

Четвертый уровень – органный уровень. Органы образуются тканями, поэтому третий и четвертый уровни часто объединяют в один – органно-тканевой. Но это не совсем правильно, потому что органы обладают особыми качествами (возможностями), отличающимися от качеств тканей, которые их образуют.

Пятый уровень – организменный уровень. Органы и ткани образуют организмы. Одноклеточные организмы одновременно присутствуют и на втором, и на пятом уровнях, такая вот у них «привилегия». На этом уровне появляется такое качество, как независимость (крики «Ура!» и бурные продолжительные аплодисменты). Ткани и органы не могут существовать в природе независимо, а организмы – могут. Если вы сейчас подумали о том, что организмы заодно еще могут и размножаться, то вспомните, что клетки многоклеточных организмов тоже способны размножаться делением.

Шестой уровень – популяционно-видовой.

Видом в биологии называется совокупность близких по происхождению организмов, относительно схожих в морфофизиологическом отношении, занимающих определенный ареал в природе, способных скрещиваться между собой и давать плодовитое потомство.

Это несколько упрощенное определение вида, существуют и более сложные, но нам с вами они пока ни к чему, суть ясна и так.

Обратите особое внимание на слово «плодовитое». Представители некоторых близких биологических видов, например – лошади и ослы, могут скрещиваться между собой и давать потомство (лошаков или мулов), но это потомство будет бесплодным. Бесплодие потомков происходит из-за разного количества хромосом у родителей (у лошадей 64 хромосомы, а у ослов – 62), что приводит к нарушению мейоза, процесса образования половых клеток у их потомства.

Биологический вид – главная единица классификации в биологической систематике.

Особи, принадлежащие к одному виду, имеют общее происхождение, одного условного предка.

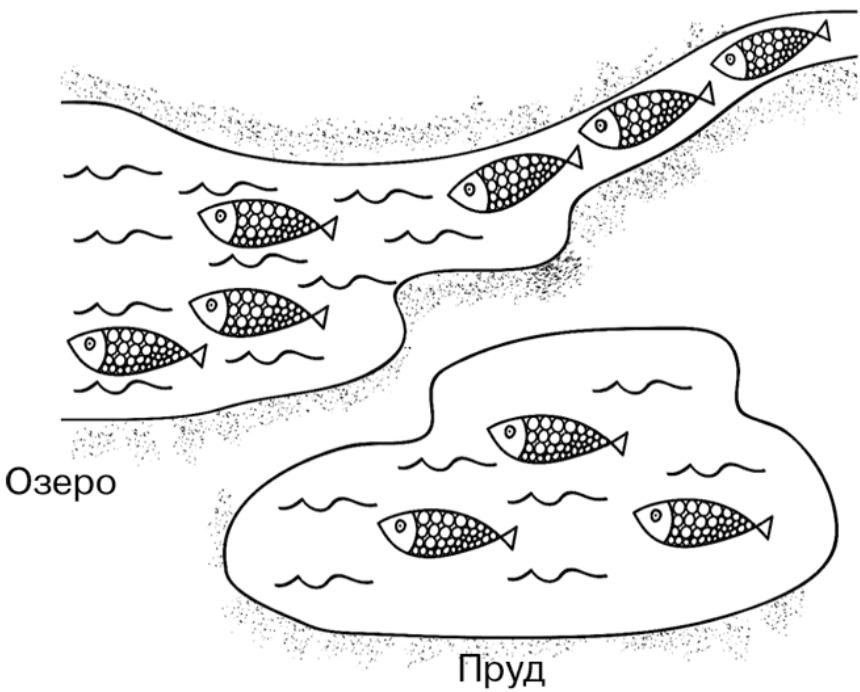
На этом уровне появляется такое замечательное качество, как

потенциальное бессмертие. При благоприятных условиях вид может существовать вечно.

Популяцией называется совокупность особей одного вида, длительное время обитающих на одной территории и частично или полностью изолированных от особей других популяций данного вида. Популяция обладает общим генетическим фондом или генофондом. Так называют совокупность генов особей, составляющих данную популяцию. К слову будь сказано, что совокупный набор генов, содержащийся в хромосомах одной отдельной особи, называется геномом. У организма – геном, у популяции – генофонд, не путайте, пожалуйста, эти понятия.

Особи, составляющие одну популяцию, могут свободно скрещиваться между собой, поскольку внутри популяции отсутствуют изоляционные барьеры. Возможность свободного скрещивания является необходимым условием для объединения особей в популяцию! Именно изоляционные барьеры отграничивают одну популяцию от другой.

Рассмотрим понятие «популяция» на простейшем примере.



На рисунке изображены озеро со впадающей в него речкой и обособленный пруд. Нельзя сказать, что рыбы озера и речки составляют две разные популяции, потому что речка сообщается с

озером и рыбы могут беспрепятственно проплывать из речки в озеро и обратно. А вот пруд полностью изолирован как от речки, так и от озера. Итак, на рисунке мы видим две популяции рыб – озерно-речную и прудовую.

Надо сказать, что у людей, как у разумных существ, изоляционные барьеры могут быть не только природными (например – океанским пространством или горной цепью), но и социальными. Представители какой-то нации или приверженцы какой-то религии могут жить среди других людей, но при этом заключать браки только с людьми, относящимися к той же нации, или же только с единоверцами. В этом случае можно говорить об отдельной популяции.

В процессе эволюции, благодаря изменчивости, образуются новые биологические виды. Происходит это следующим образом. В результате естественного отбора, под влиянием условий окружающей среды, в каждой популяции эволюция идет своим путем, в своем направлении. Отбираются и закрепляются те признаки, которые выгодны в данных условиях, которые позволяют жить дольше и оставить больше потомства. Пра-пантера, обитающая в саванне, превратилась в льва, а та, что жила в лесах – в тигра.

Обратите внимание на то, что живая природа может эволюционировать только в надорганизменных уровнях. На уровне организма никакой эволюции происходить не может. Мы разберем эволюцию по косточкам и разложим по полочкам, но сделаем это немного позже. Пока что просто запомните, что на популяционно-видовом уровне появляется эволюционное развитие.

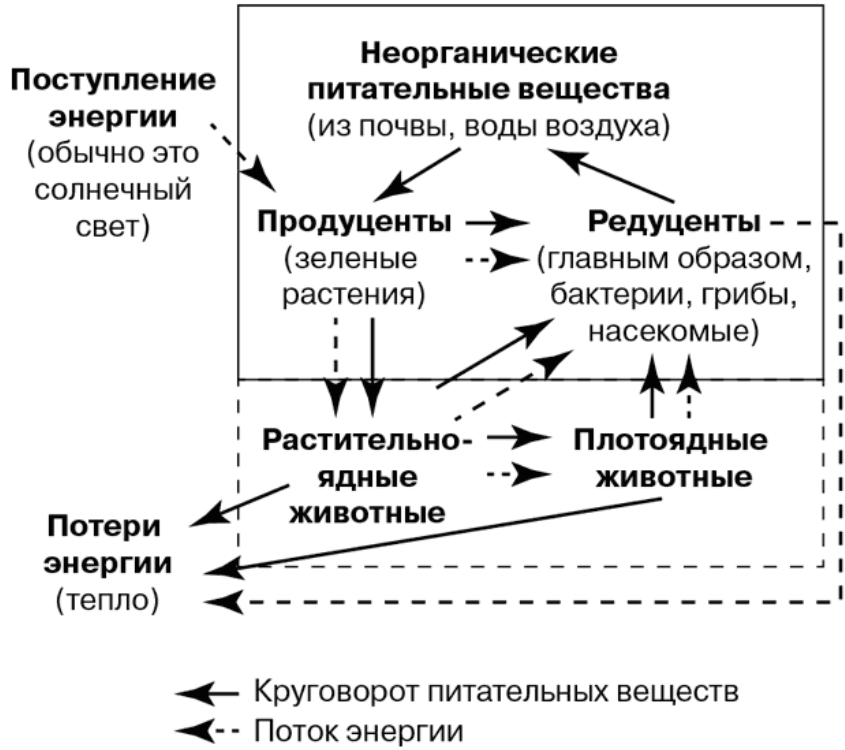
Седьмой уровень называется биогеоценотическим или экосистемным.

Биогеоценоз – это совокупность организмов разных видов, проживающих на одной территории и связанных между собой и с окружающей их неживой природой обменом веществ и энергии.

Биогеоценоз образуется биоценозом и биотопом.

БИОЦЕНОЗ + БИОТОП = БИОГЕОЦЕНОЗ

Биоценозом или биотическим сообществом называется совокупность организмов, проживающих на одной территории. Речь идет обо всех организмах вообще, а не только о представителях одного биологического вида. Биоценоз – это совокупность популяций.



Основные компоненты экосистемы и взаимодействие между ними

Биотопом называется участок пространства (суши или водоема), заселенный одним биоценозом.

Объединяясь, живая и неживая природа образуют биогеоценоз.

В любом биогеноценозе существует равновесие, обеспеченное замкнутым круговоротом веществ и энергии.

Биогеоценоз является экологической системой, поэтому седьмой уровень организации жизни также называют экосистемным.

Обратите внимание на то, что экологической системой называются не только биогеоценозы, но и любой природный или искусственный комплекс, состоящий из живых организмов и среды их обитания, связанных между собой потоками вещества, энергии и информации. Пруд со всеми его обитателями – это тоже экосистема, только небольшая. И аквариум тоже экосистема, и роща.

Восьмой и самый высший, глобальный уровень – это биосферный. Биосфера объединяет все биогеоценозы, существующие на нашей планете. В биосферу входят:

– вся гидросфера, потому что во всех водоемах на Земле есть те или иные формы жизни;

– тропосфера или нижняя часть атмосферы (до 18 км от поверхности земли). Эта граница определяется озоновым слоем атмосферы, который задерживает самую опасную для живых организмов часть ультрафиолетового излучения Солнца. Поэтому выше озонового слоя жизнь невозможна.

– педосфера или почвенная оболочка Земли, которая богато населена различными организмами;

– верхняя часть литосферы, твердой внешней оболочки Земли. Почти вся жизнь в литосфере существует на глубине нескольких метров, но отдельные бактерии могут жить и на больших глубинах. Ученые уже перестали устанавливать нижнюю границу жизни, потому что ее приходилось все время передвигать. Сначала считалось, что некоторые одноклеточные организмы могут обитать на глубине до 1 километра, затем планку опустили до 2,5 километров, затем – до 4 километров и тут хотели поставить точку, потому что на такой глубине температура литосферы возрастает до 100 ˚С, что делает жизнь невозможной – вода закипает, а белки начинают денатурироваться…[28]

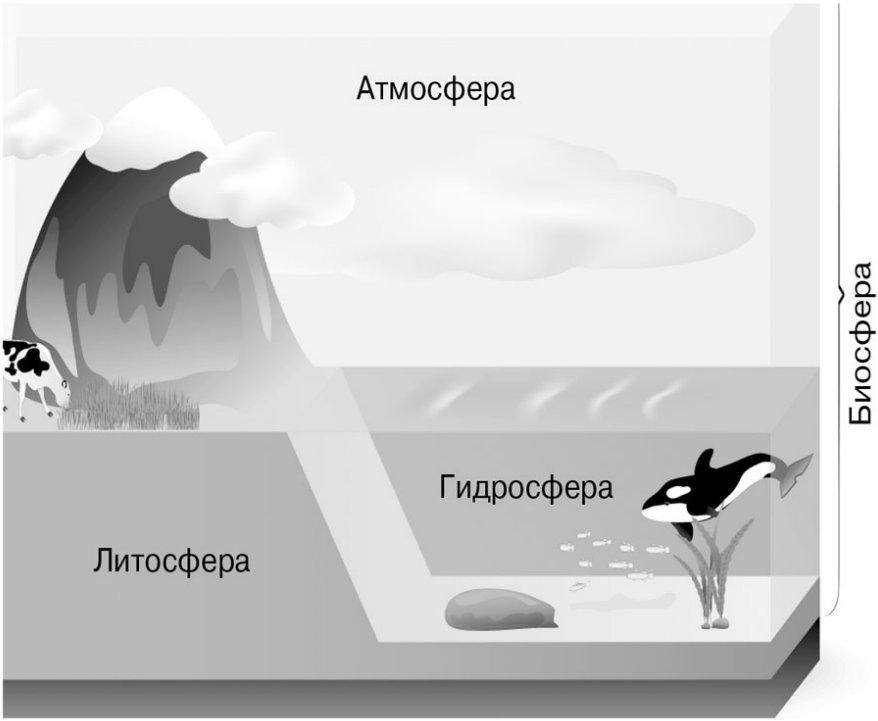
Невозможной?

А вот и нет!

Сначала среди одноклеточных организмов нашлись такие, которые могли жить при температуре свыше 110 ˚С, а затем и такие, кто мог спокойно переносить невероятную для живых существ температуру в 123 ˚С… А несколько лет назад была высказано смелое предположение о существовании жизни на глубине в 19 километров! Так глубоко в земную кору никто еще не вгрызался, но глубоко залегающие породы могут выбрасываться на поверхность в результате геологических процессов, например – при извержении вулканов. В породе с такой глубины, которая вышла на поверхность очень давно, десятки миллионов лет назад, было обнаружено высокое содержание углерода, причем не в виде соединений с другими химическими элементами, как это обычно бывает в горных породах, а в чистом виде. Это можно расценивать как результат жизнедеятельности каких-то микроорганизмов, настоящих микробов-терминаторов, способных выдерживать высоченное давление и столь же высоченные температуры.

Надо уточнить, что на больших глубинах в земной коре обитают бактерии-анаэробы, то есть такие бактерии, которым для жизнедеятельности не нужен кислород, содержащийся в атмосферном воздухе. И обитают эти бактерии не в самой толще

коры, а в подземных водах и нефтяных залежях.



Границы биосферы

Глава шестая. Каталог строительных материалов или молекулярно-генетический уровень организации

Мы с вами нарушили иерархический порядок, начав знакомство с уровнями организации жизни с клетки, а не с молекул. Но так было удобнее, потому что именно с клетки начинается жизнь, та самая настоящая полноценная жизнь, а не вирусное или прионное существование.

А теперь вас ждет увлекательное знакомство со строительными материалами, из которых сделаны клетки.

Молекулярно-генетический уровень организации – это базовая основа жизни. Все, что происходит в живом организме, все биологические процессы, все эмоции и все мысли являются результатами реакций между различными молекулами и каждый организм состоит из молекул органических и неорганических веществ. Жизнь на молекулярно-генетическом уровне изучает наука, которая называется молекулярной биологией. Молекулярная биология тесно связана с биохимией и генетикой.

Главная особенность молекулярно-генетического уровня организации жизни заключается в том, что на этом уровне осуществляется важнейший жизненный процесс – превращение энергии солнечных лучей в энергию химическую, которая сохраняется в химических связях органических веществ и в таком виде может использоваться живыми организмами. Большинство живых организмов на нашей планете прямо или опосредованно питают солнечные лучи. Солнечная энергия усваивается растениями. Растения поедают травоядные животные, которыми, в свою очередь, питаются хищники. А после смерти все живое становится пищей для сапрофитов – растений, грибов и бактерий, питающиеся органическим веществом умерших организмов.

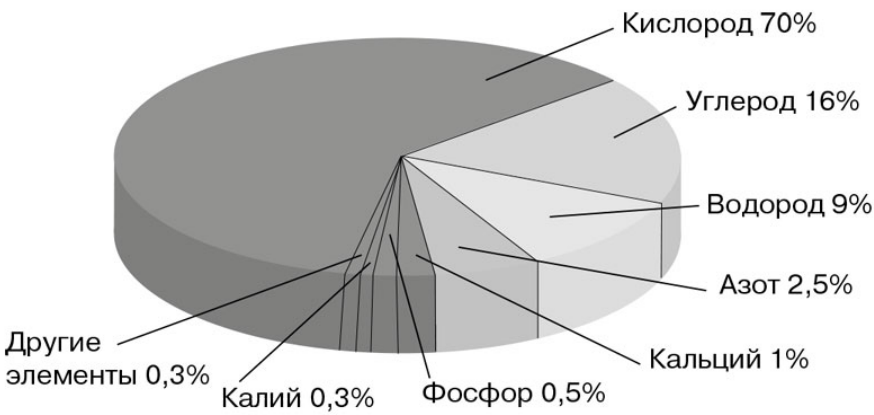
Обратите внимание на слово «большинство». Большинство живых организмов питают солнечные лучи, но есть на нашей планете организмы, для которых источником энергии служат химические реакции с участием неорганических соединений. Такой способ питания, называемый хемосинтезом, доступен некоторым одноклеточным организмам (только одноклеточным, все многоклеточное питается Солнцем). Хемосинтезирующие организмы или хемотрофы[29] могут жить в океанских глубинах и в земной коре. Им не нужны ни солнечный свет, ни останки других организмов. Был бы сероводород, или углекислый газ, или

аммиак, или еще что-то неорганическое, неживое.

На первом месте в нашем каталоге строительных материалов стоит вода, которую заслуженно называют «основой жизни». Биологическое значение воды трудно переоценить, настолько оно огромно.

В первую очередь вода служит основой внутренней среды организмов и внутриклеточной среды. Вода обеспечивает транспорт веществ в клетках и организмах. Вода служит средой для химических реакций и участвует во многих реакциях, протекающих в живых организмах. А еще вода является средой обитания для многих организмов и вообще жизнь на нашей планете зародилась в воде.

Организм человека примерно на 60 % состоит из воды, то есть ее содержание больше, чем содержание всех других веществ вместе взятых. Нередко можно встретить другие цифры – 70 % или 80 %. Дело в том, что большинство клеток живых организмов содержат 70-80 % воды, но в костных клетках ее около 20 %, а в зубной эмали, самой твердой ткани организма – примерно 10 %. Поэтому в целом наш организм содержит именно 60 % воды, а не 70 % и не 80 %.



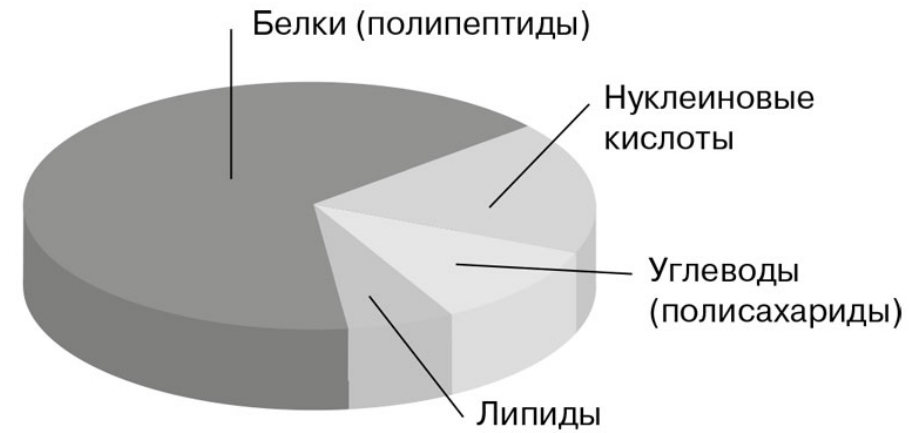
Содержание химических элементов в клетке

Кроме воды, в клетках содержатся различные *минеральные соли*, которые так же, как и вода, относятся к неорганическим веществам. Большинство этих минеральных солей (за исключением тех, что содержатся в костях и зубной эмали), растворены в воде.

По отношению к кислороду все живые организмы делятся на аэробов, которым для жизнедеятельности нужен свободный молекулярный кислород, и анаэробов, которые в кислороде не нуждаются. Подавляющее большинство животных, все растения, а

также значительная часть микроорганизмов – аэробы. Но с эволюционной точки зрения более древними являются анаэробы. Первые жители нашей планеты «дышали» водородом и серой, кислорода тогда в атмосфере не было.

Органические вещества клетки представлены нуклеиновыми кислотами, белками, липидами и углеводами.



Органические вещества клетки

Углеводы содержатся в каждой живой клетке. Вот просто – в каждой без исключения. Особенно богаты углеводами клетки растений, в которых углеводы могут составлять до 90 % сухого остатка. В животных клетках углеводов содержится значительно меньше – около 1 % сухого остатка, и только в мышечных клетках и клетках печени их содержится в 5 раз больше.

Огромный мир углеводов делится на три основных класса – моносахариды, олигосахариды и полисахариды.

Моносахариды[30] или простые углеводы содержат в своих молекулах до семи атомов углерода. **Моносахариды** хорошо растворимы в воде и имеют сладкий вкус. Одним из самых распространенных моносахаридов и важнейшим источником энергии в живых клетках, является **глюкоза, или виноградный сахар** ($C_6H_{12}O_6$).

При расщеплении молекулы глюкозы на две молекулы пировиноградной кислоты выделяется энергия. Этот процесс называется гликолизом, что переводится с греческого как «расщепление сахара».

Но глюкоза не только источник энергии. Она является мономером многих полимерных углеводов, которые называются олигосахаридами («малосахаридами») и полисахаридами («многосахаридами»). Если кто забыл, то полимером называют высокомолекулярное соединение, состоящее из большого числа

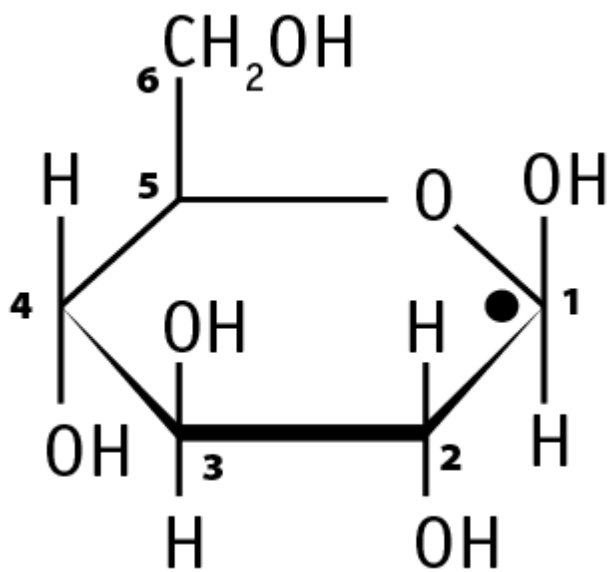
повторяющихся групп атомов, которые называются мономерами. Мономеры – это «кирпичики» из которых собираются огромные молекулы полимеров. Олигосахариды состоят из 2-10 моносахаридных «кирпичиков», а с 11 «кирпичиков» начинаются полисахариды.

Другим широко распространенным в природе моносахаридом является фруктоза или фруктовый сахар ($C_6H_{12}O_6$), содержащаяся в меде и фруктах. Фруктоза более сладкая на вкус, чем глюкоза.

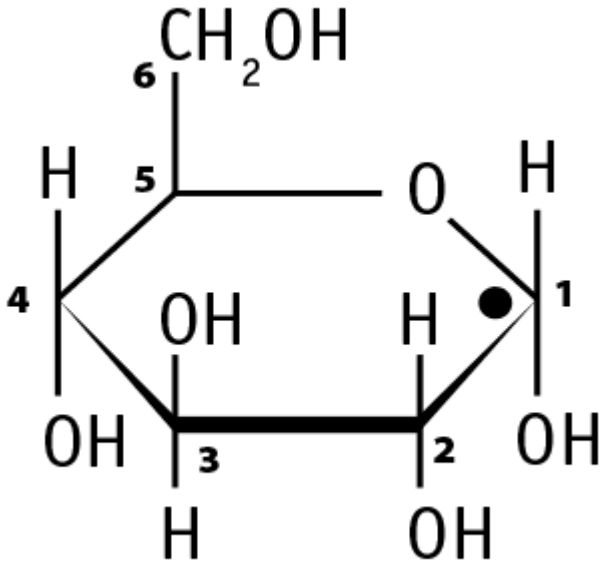
Обычная химическая формула у глюкозы и фруктозы одинаковая – $C_6H_{12}O_6$. Но обычными формулами органическая химия оперирует редко, только в тех случаях, когда речь идет о простейших соединениях, потому что значение имеет не только общее количество тех или иных атомов в молекуле, но и то, как именно они связаны друг с другом, а также их пространственное расположение. Эти нюансы отражают структурные формулы веществ.

Фруктоза и глюкоза – изомеры. Изомерами называются вещества, молекулы которых имеют одинаковые состав и молекулярную массу, но различаются строением или расположением атомов в пространстве.

Глюкоза может существовать в виде α-глюкозы или β-глюкозы. Отличие между этими пространственными изомерами заключается в том, что при первом атоме углерода у α-глюкозы гидроксильная группа (–OH) расположена под плоскостью углеродного кольца, а у β-глюкозы – над плоскостью.

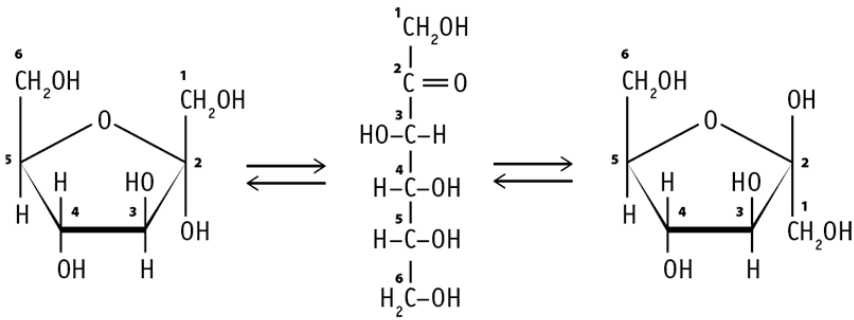


ß-глюкоза



α-глюкоза

А фруктоза может существовать не только в двух циклических формах – α или β, но и в цепной.



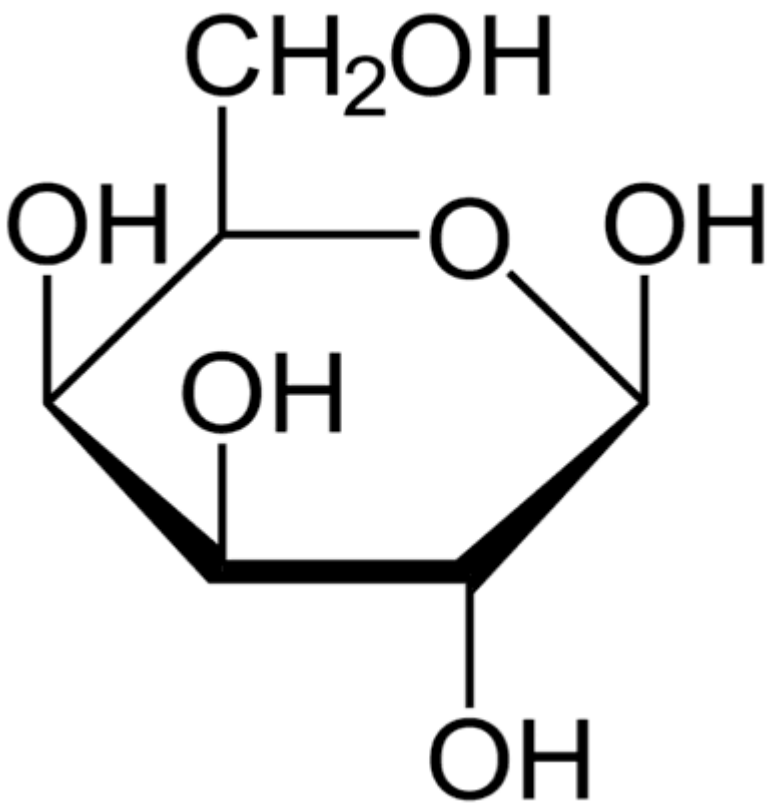
Подобно глюкозе, фруктоза также является мономером многих олигосахаридов и полисахаридов.

Наиболее распространенными **олигосахаридами являются** дисахариды, содержащие 2 мономерных «кирпичика». Кстати говоря, сладкий вкус олигосахаридов уменьшается по мере увеличения числа моносахаридных остатков, а полисахариды вообще не сладкие.

То, что мы в быту называем «**сахаром» – это сахароза,**

дисахарид, состоящий из остатков глюкозы и фруктозы. **Сахароза содержится в** тканях растений. В промышленности сахарозу получают из сахарного тростника стебли которого содержат 10–18 % сахарозы или из сахарной свеклы, корнеплоды которой содержат до 20 % сахарозы.

В прорастающих семенах злаков содержится дисахарид **мальтоза, она же – солодовый сахар.** Молекула мальтозы состоит из двух остатков глюкозы. А в молоке и молочных продуктах содержится дисахарид **лактоза или молочный сахар, молекула которого образована** остатками глюкозы и галактозы. Галактоза – это еще один изомер глюкозы, которая отличается от глюкозы пространственным расположением водородной и гидроксильной групп у 4-го углеродного атома. Подобно фруктозе, галактоза может существовать не только в циклических, но и в цепной форме.



Галактоза

Все олигосахариды растворяются в воде, и чем меньше

«кирпичиков» содержит молекула олигосахарида, тем выше его растворимость. А вот **полисахариды** плохо растворяются в воде или вообще не обладают такой способностью.

Известный всем **крахмал** $(C_6H_{10}O_5)_n$ представляет собой полисахарид, мономером которого является α-глюкоза. **Крахмал – основной углевод** нашей пищи и основной резервный углевод растений, который накапливается в семенах, клубнях, корневищах, луковицах. Растения образуют крахмал в результате фотосинтеза – так процесс образования органических веществ из неорганических с помощью солнечной энергии. Фотосинтез свойственен не только растениям и некоторым бактериям, клетки которых содержат пигмент хлорофилл, обладающий способностью поглощения солнечная энергии.

Содержание крахмала в зернах риса достигает до 86 %, пшеницы – до 75 %, кукурузы – до 72 %, в клубнях картофеля – до 25 %. В том, что молекула крахмала состоит из глюкозы, можно убедиться путем простого опыта. Если в течение нескольких минут методично и целеустремленно жевать какой-либо крахмалосодержащий продукт, например – кусочек хлеба или картофеля, то во рту появится сладкий вкус. Содержащийся в слюне пищеварительный фермент амилаза расщепляет несладкую молекулу крахмала на составные части – сладкие молекулы глюкозы. Полимерные цепочки крахмала ветвятся, но не сильно.

Полисахарид, мономером которого является β-глюкоза, называется **целлюлозой** $(C_6H_{10}O_5)_n$. В отличие от крахмала полимерные цепочки целлюлозы не ветвятся. **Целлюлоза –** это основной структурный полисахарид клеточных стенок растений, защита и опора растительных клеток. Содержание целлюлозы в древесине доходит до 50 %, а в волокнах семян хлопчатника аж до 98 %. Хлопок – это «чистая» целлюлоза.

Если крахмалом мы можем питаться, то целлюлозой – нет. Вроде бы и разница между двумя этими полимерами небольшая (и там глюкоза, и здесь глюкоза), но в организме человека отсутствует фермент целлюлаза, разрывающий связи между молекулами β-глюкозы.

Основным резервным углеводом, образующимся в организмах грибов и животных (в том числе и человека) является третий «глюкозный» полисахарид, который называется гликогеном $(C_6H_{10}O_5)_n$. **Мономером гликогена** является α-глюкоза, но полимерные цепочки гликогена ветвятся гораздо сильнее, чем цепочки крахмала. Гликоген накапливается в печени, где его содержание доходит до 20 %, а также в мышцах (до 4 %). Клетки печени – главные производители гликогена в организме животных. Но и другие клетки могут вырабатывать и накапливать

гликоген. Печень далеко, долго ждать, когда оттуда поступит глюкоза, нужно иметь небольшой запас под рукой.

При расщеплении 1 грамма углеводов выделяется 17,6 кДж энергии, что соответствует 4,2 килокалориям. Столько же энергии выделяется при расщеплении 1 грамма белка. Но вот «парадокс» – углеводные овощи, в том числе и суперкалорийный картофель, считаются менее калорийными продуктами, чем белковое мясо, даже нежирное. Для сравнения – в 100 граммах сырого картофеля в среднем содержится 77 килокалорий, а калорийность сырой телятины составляет 105 килокалорий. Про калорийность огурцов вообще говорить нечего – 15 килокалорий на 100 грамм продукта.

В чем причина такой разницы в калорийности?

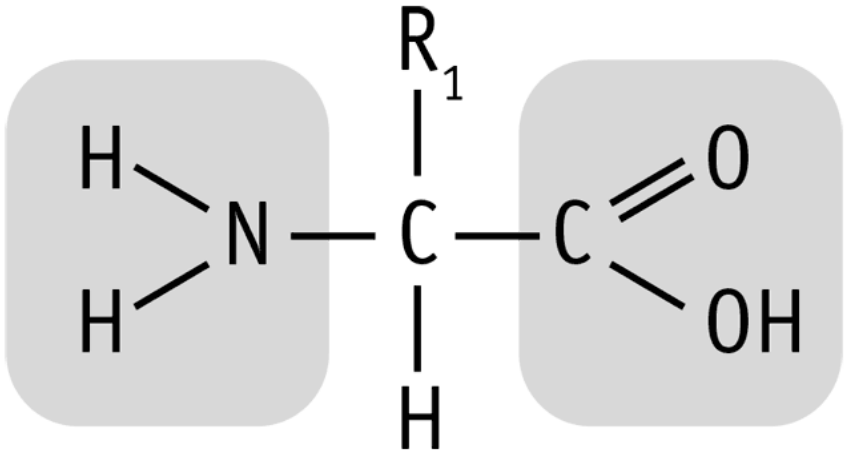
В различном содержании воды в растительных и животных продуктах!

Никакого парадокса на самом деле нет (потому и слово это взято в кавычки). Просто в сырых растительных продуктах содержится больше воды, чем в мясе, а у воды калорийность нулевая. Живые организмы не могут получать энергию, разлагая молекулу воды на кислород и водород. В пересчете же на сухой остаток калорийность телятины, картофеля и огурцов будет одинаковой.

С углеводами мы разобрались. На очереди – белки.

Белки или протеины это сложные высокомолекулярные вещества, состоящие из мономерных остатков аминокислот. Белки обладают большой молекулярной массой: у яичного альбумина (это то, что в быту называют «яичным белком») она равна 36 000,[31] у гемоглобина – 152 000, у мышечного белка миозина – 500 000. Для сравнения – молекулярная масса уксусной кислоты составляет всего 60.

По содержанию в клетке белки стоят на втором месте после воды. Примерно 50 % от сухого остатка клеточных веществ приходится на долю белков.



Общая структура молекулы аминокислоты

Давайте вспомним из курса химии, что аминокислотами называются органические вещества, которые содержат карбоксильную группу (–COOH), аминогруппу (–NH_2) и радикал или R-группу (это остальная часть молекулы). Особенности физических и химических свойств аминокислот обусловлены присутствием в их молекулах двух противоположных по свойствам функциональных групп: кислотной карбоксильной группы и основной аминогруппы.

В зависимости от того, могут ли аминокислоты вырабатываться в организме человека или животных, их разделяют на заменимые аминокислоты, которые могут вырабатываться, и незаменимые аминокислоты, которые вырабатываться не могут. Условием нормальной жизнедеятельности организма является поступление незаменимых аминокислот вместе с пищей. А вот растения вырабатывают все виды аминокислот.

Не надо путать незаменимые аминокислоты с витаминами – веществами, которые ускоряют или делают возможными определенные обменные реакции. Витамины – это катализаторы, а аминокислоты – строительный материал и источник энергии.

Аминокислот известно с полтысячи, но в образовании большинства белков задействовано только 20.

Белки состоящие только из аминокислот, называются простыми белками. Если белок помимо аминокислот содержит еще и какой-то не аминокислотный компонент – металл, углевод, липид, нуклеиновую кислоту, – то такой белок называют сложным. Примерами сложных белков являются металлопротеины, гликопротеины, липопротеины,

нуклеопротеины. Обратите внимание на то, что название неаминокислотного компонента всегда ставится первым. «Протеинолипид» – неграмотное название.

Химики называют белки «пептидами» или «полипептидами».

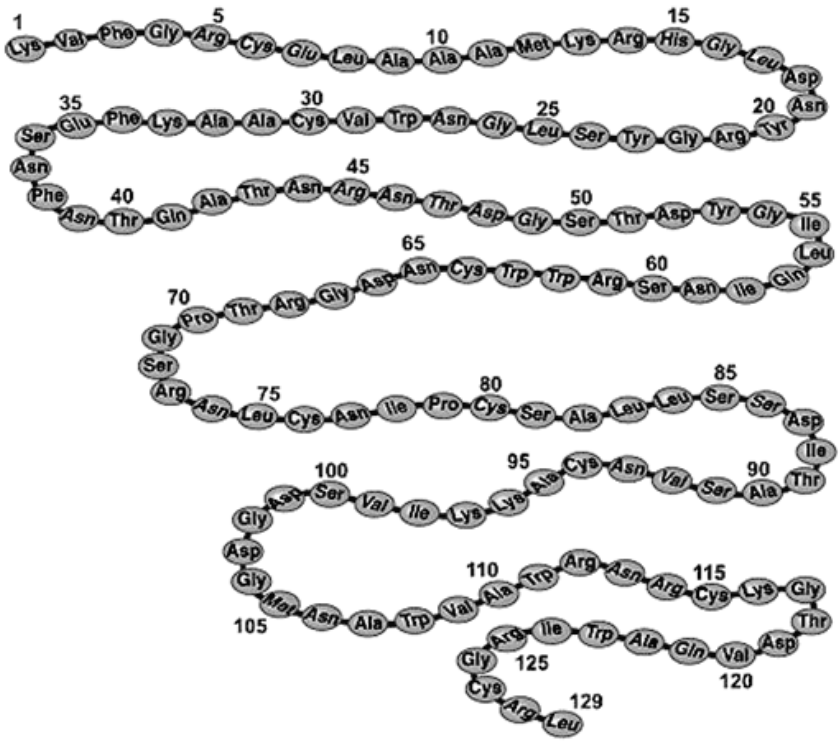
Пептиды – это вещества, молекулы которых построены из двух и более остатков аминокислот, соединенных в цепь пептидными связями – C(O)NH–.

Пептид, молекула которого содержит до 20 остатков аминокислот, называется олигопептидом, а от 21 остатка начинаются полипептиды. Для того, чтобы полипептид считался белком, в составе его молекулы должно присутствовать более 50 аминокислотных остатков.

Клетке энергетически невыгодно (можно сказать – неудобно) держать белки в развернутой форме, в виде длинной-предлинной полипептидной цепочки. Поэтому полипептидные цепи подвергаются пространственной организации – укладке с приобретением определенной трехмерной структуры.

Различают четыре уровня пространственной организации белков.

Первичная структура белка – полипептидная цепь.

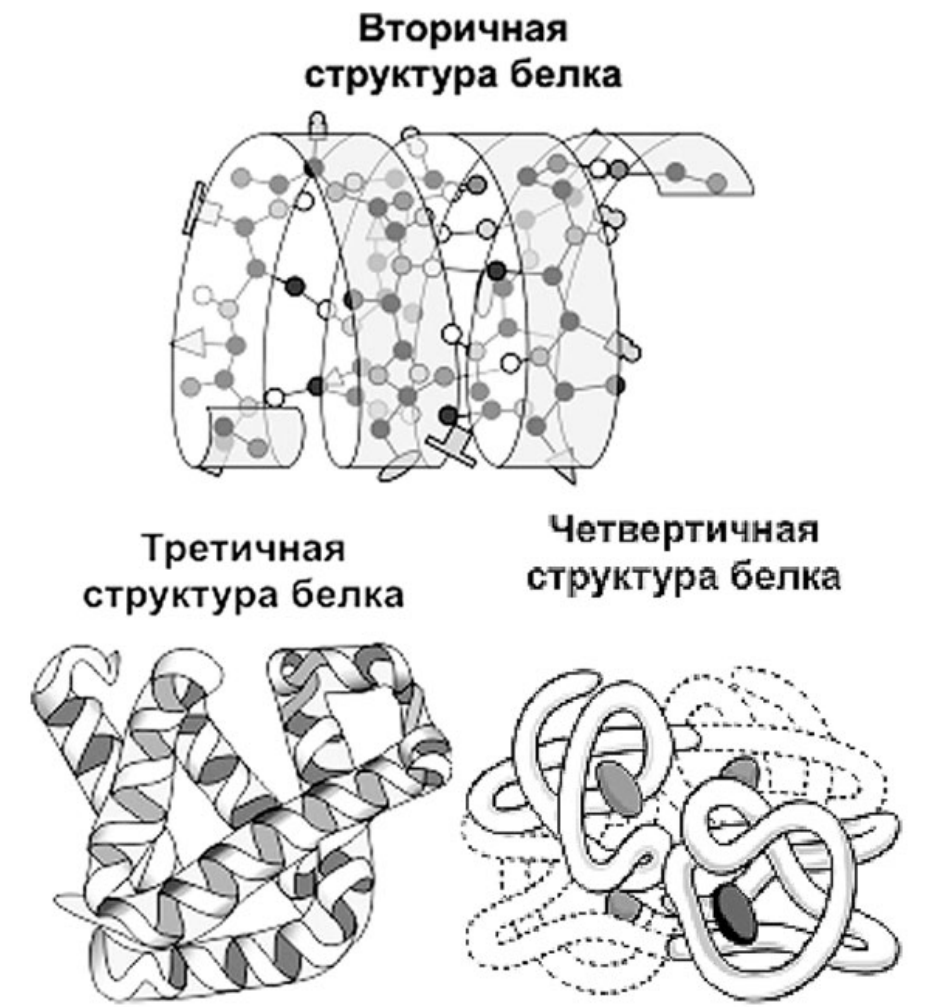


Первичная структура белка

Первичная структура белковой молекулы – самая «главная». Именно первичная структура – расположение атомов в молекуле белка – определяет свойства молекулы и ее пространственную конфигурацию.

Вторичная структура белка представляет собой упорядоченное свертывание полипептидной цепи в спираль, которая имеет вид растянутой пружины. Витки спирали укрепляются водородными связями,[32] возникающими между карбоксильными группами (CO-) и аминогруппами (NH-).

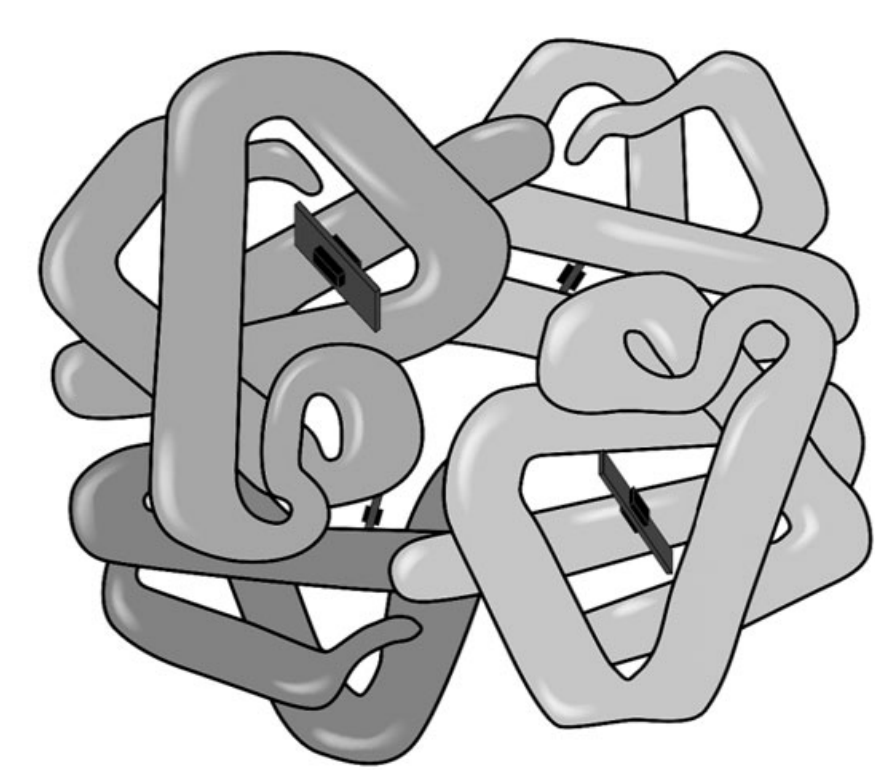
Водородные связи слабые, но, многократно повторяясь, они придают спирали белковой молекулы устойчивость и жесткость. На уровне вторичной структуры существуют такие белки, как, например, коллаген (сухожилия) или кератин (волосы, ногти).



Третичная структура белка представляет собой укладку полипептидных цепей в «клубки» – глобулы, возникающая в результате возникновения различных химических связей.

На уровне третичной структуры существуют ферменты, антитела, некоторые гормоны.

Четвертичная структура характерна для сложных белков, молекулы которых образованы двумя и более глобулами, соединенными какими-то химическими связями. Наиболее известным белком, имеющим четвертичную структуру, является белок крови гемоглобин, молекула которого образована четырьмя «клубками». Клубки связывает вместе общее для всех железосодержащее «ядро», называемое гемом. «Гема» в переводе с греческого означает «кровь», «глобус» – это «шар» на латыни. Гемоглобин – кровяной шар.



Молекула гемоглобина

Что случается с белком куриного или какого-то другого птичьего яйца при нагревании? Он сначала начинает загустевать, а затем твердеет, потому что тепловая энергия вызывает разрыв связей, удерживающих молекулу белка в свернутом виде. Молекула «расправляет плечи». Сначала утрачивается

четвертичная структура, затем – третичная, затем – вторичная и молекула белка становится нитевидной. Нитевидной молекуле расправляться больше некуда, но она может распасться на несколько составных частей.

Процесс утраты трехмерной конформации, присущей данной молекуле белка, называют денатурацией (денатурация – потеря природной структуры). Изменение пространственной конфигурации молекулы приводит к изменению ее свойств и делает невозможным выполнение присущих ей биологических функций. Если денатурация не сопровождается разрушением первичной структуры, то она может быть обратимой – ниточка снова свернется в клубочек и займется своим делом. Процесс восстановления структуры белка после денатурации называется ренатурацией.

Белки участвуют во всех процессах жизнедеятельности клетки и выполняют в организме различные функции. Биологические функции белков более разнообразны, чем функции других полимеров – полисахаридов и ДНК. Всех функций белков мы касаться не будем, отметим только самые важные.

Функции белков

Строительная функция белков заключается в том, что они участвуют в образовании клеточных и внеклеточных структур.

Белки, входящие в состав клеточных мембран выполняют транспортную и рецепторную функции. Они обеспечивают избирательный перенос веществ и ионов через белковые каналы и воспринимают идущие извне сигналы, а также играют роль «визитных карточек», то есть служат для распознавания клеток. Важнейшую роль в организме играет белок гемоглобин, который занимается транспортировкой веществ в глобальном масштабе – в

легких присоединяет кислород и доставляет его ко всем тканям и органам, а обратно в легкие переносит углекислый газ.

Особые белки, называемые ферментами, активизируют химические реакции, которые происходят в клетках.

Белки актин и миозин обеспечивают сокращение мышц у многоклеточных животных.

В регуляции обменных процессов принимают участие белки-гормоны. Так, например, белок инсулин регулирует содержание глюкозы в крови и не только.

В ответ на проникновение в организм чужеродных агентов, образуются особые белки, называемые антителами, которые связываются с этими агентами и тем самым обезвреживают их.

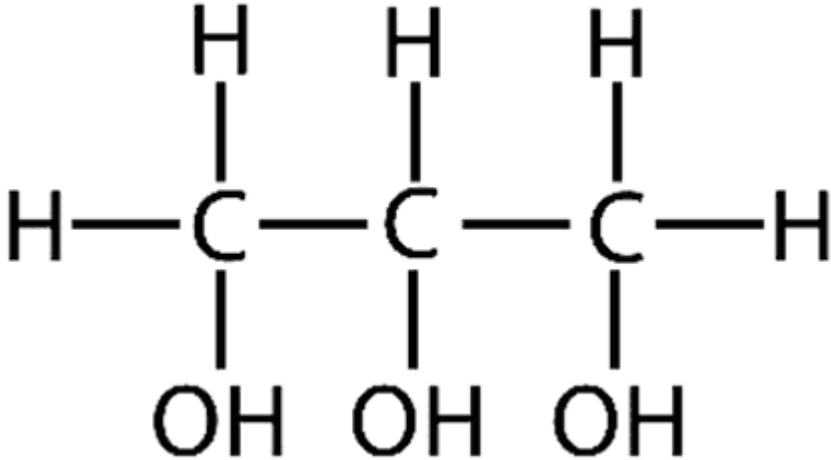
Белок фибрин, образующийся из белка фибриногена, способствует прекращению кровотечений. В месте повреждения кровеносного сосуда образуется фибриновая сеть. В этой сети застревают кровяные клетки о образуется пробка, закупоривающая поврежденное место.

Белки могут служить запасом питательных веществ. Чаще всего это происходит в структурах, связанных с размножением, например – в семенах многих растений, в яйцах животных, в икре рыб. Расщепляя белки из запаса, растущий организм получает аминокислоты, необходимые для синтеза собственных белков, а также получает энергию, расщепляя аминокислоты до конечных продуктов – воды, углекислого газа и аммиака. Но вообще-то расщеплять аминокислоты для получения энергии – это расточительство. Выгоднее использовать аминокислоты в качестве строительного материала для выработки белков. Поэтому в организмах животных белки используются в качестве источника энергии только после того, как будут израсходованы другие источники – углеводы (гликоген, глюкоза) и жиры.

О липидах мы уже говорили, когда знакомились со строением клеточных мембран. Давайте повторим, что к этой группе органических соединений относятся жиры и жироподобные вещества.

Липиды подразделяют на простые и сложные.

Простые липиды в большинстве своем представлены триглицеридами – сложными эфирами высших жирных кислот и трехатомного спирта глицерина.



Глицерин

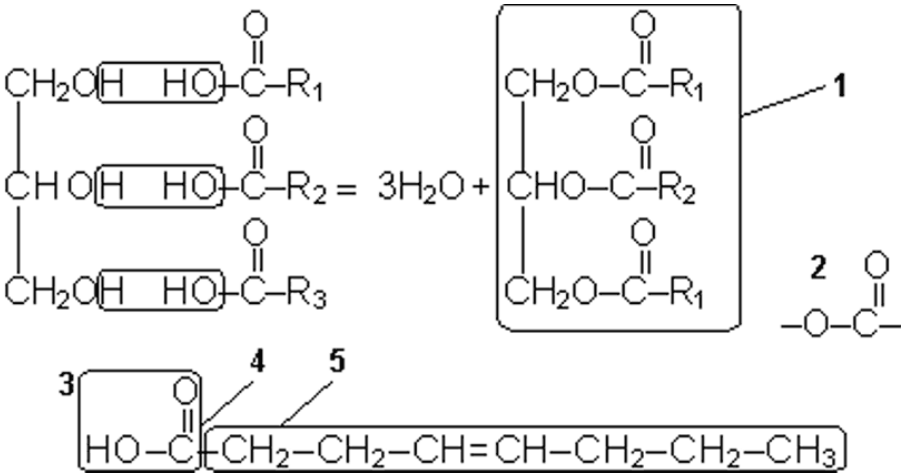
Вы могли подумать, что глицерин называют «трехатомным спиртом» потому что его молекула образована тремя атомами углерода. Нет! На самом деле речь идет от трех гидроксильных группах (-OH), такие вот химические тонкости.

Жирные кислоты имеют одинаковую для всех кислот группировку – карбоксильную группу (–COOH) и радикал, которым они отличаются друг от друга. Этот радикал представляет собой цепочку из различного количества (от 14 до 22) углеводородных группировок – CH_2–. Если радикал жирной кислоты содержит одну или несколько двойных связей (–CH = CH–), такую **жирную кислоту называют ненасыщенной**, а если жирная кислота не имеет двойных связей, ее называют **насыщенной**. Смысл названия ясен? Наличие двойной связи между атомами углерода позволяет каждому из атомов дополнительно присоединить по одному атому водорода. Жирная кислота с двойными связями еще не насытилась атомами водорода, потому-то ее и называют «ненасыщенной». А если все связи между атомами углерода одинарные, то присоединение атомов водорода невозможно (без разрыва углеродной цепочки), молекула жирной кислоты насытилась ими «под завязку».

При образовании триглицерида каждая из трех гидроксильных групп глицерина вступает в реакцию конденсации с жирной кислотой с образованием трех сложноэфирных связей.

Если в триглицеридах преобладают **насыщенные жирные кислоты**, то их называют **жирами**. Жиры характерны для животных клеток. Если в триглицеридах преобладают **ненасыщенные жирные кислоты**, то их называют **маслами**. Масла характерны для растительных клеток. Одним из

выраженных отличий между маслами и жирами является их разное агрегатное состояние при нормальных условиях (температуре в 20°С). Жиры твердые, а масла жидкие.



Липиды. 1 – триглицерид; 2 – сложноэфирная связь; 3 – ненасыщенная жирная кислота; 4 – гидрофильная головка; 5 – гидрофобный хвост.

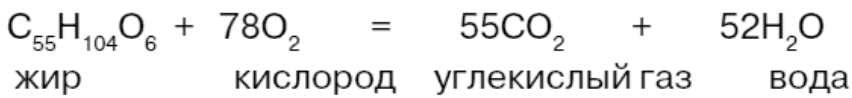
Обратите внимание на то, что сливочное масло на самом деле является молочным жиром.[33]

К простым липидам также относят **воски** – сложные эфиры высших жирных кислот и высокомолекулярных спиртов. Воски делятся на животные и растительные. Все воски устойчивы (иначе говоря – обладают малой химической активностью), нерастворимы в воде, но хорошо растворимы в органических растворителях – бензине, хлороформе, эфире. Примерами животных восков могут служить пчелиный воск, выделяемый специальными железами медоносных пчел, или же ланолин, предохраняющий шерсть животных от посторонней влаги, а кожу – от высыхания. Растительные воски, покрывающие тонким слоем листья, стебли и плоды, защищают их от размачивания водой, высыхания и вредных микроорганизмов. У некоторых растений воски могут входить в состав семян в качестве резервных липидов (например у симмондсии китайской, более известной под названием «жожоба»).

Мир **сложных липидов многообразен и сложен. Углубляться в него мы не станем, вспомним только то, что было сказано выше о** фосфолипидах, которые входят в состав клеточных мембран. Помимо них в образовании клеточных мембран принимают участие гликолипиды (соединения липидов

с углеводами) и липопротеины (соединения липидов с белками).

Главная задача липидов – давать организму энергию и запасать ее. При расщеплении 1 грамма липидов выделяется 38,9 кДж энергии, что соответствует 9,4 килокалорий. Жиры и масла являются резервными пищевыми веществами у животных и растений. Особенно важны эти запасы для животных, впадающих в холодное время года в спячку (бурый медведь) или совершающих, подобно верблюдам, длительные переходы через местность, в которой нет источников пищи и воды. Да – и воды тоже. Жиры можно рассматривать и как водный запас, потому что в результате реакции окислительного распада (то есть распада, в котором принимает участие кислород) жиры распадаются на углекислый газ и воду. Вот пример уравнения такой реакции:



При окислении 1 кг жира выделяется около 1,1 кг воды. Способность жиров превращаться в воду очень важна для обитателей пустынь.[34]

На втором по значению месте стоит структурная или мембранообразующая функция липидов. Впрочем, ее можно поставить и на первое место, ведь для того, чтобы иметь возможность использовать жиры в качестве источника энергии, сначала нужно создать клетку, так что мембраны главнее энергетических запасов.

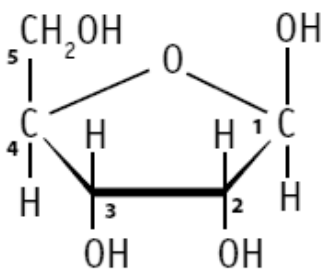
Прослойки жировой ткани и жировые капсулы обеспечивают защиту внутренних органов, а слои воска используются в качестве защитного водоотталкивающего покрытия. Об руку с защитной функцией липидов идет теплоизоляционная – подкожная жировая клетчатка препятствует отдаче тепла в окружающее пространство. Это очень важно для всех водных млекопитающих, поскольку температура воды ниже температуры воздуха и, вдобавок, вода более активно «отбирает» тепло, а также для млекопитающих, обитающих в холодном климате.

К липидам относятся некоторые гормоны, например, половые гормоны тестостерон и эстроген, альдостерон, который регулирует водно-солевой обмен, кортизол, принимающий участие в регуляции углеводного и белкового обменов. Жирорастворимые витамины A, D, E, K являются кофакторами различных ферментов.[35]

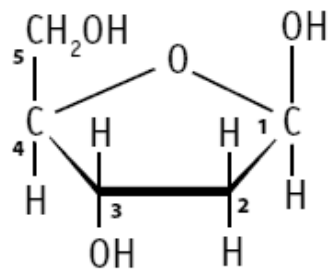
Форма жизни у нас белковая, а вот хранение информации об

организме и передачу ее по наследству обеспечивают нуклеиновые кислоты. Нуклеиновыми эти кислоты были названы по той причине, что их обнаружили в клеточном ядре («нуклеус» переводится с латыни как «ядро»). С кислотами в привычно-бытовом понимании нуклеиновые кислоты ничего общего не имеют. Они представляют собой не едкие жидкости, а биологические полимеры, в которых «кирпичики» – мономеры связаны между собой при помощи остатков молекул фосфорной кислоты (фосфатных групп). Отсюда и почетное звание кислоты.

Мономерами нуклеиновых кислот служат нуклеотиды – соединения, в состав которых входят моносахарид дезоксирибоза или рибоза и азотсодержащее (азотистое) основание. Разница между двумя моносахаридами небольшая – всего в один атом кислорода. «Дезокси-» переводится с латыни как «отсутствие атома кислорода», то есть дезоксирибоза – это рибоза без одного атома кислорода.

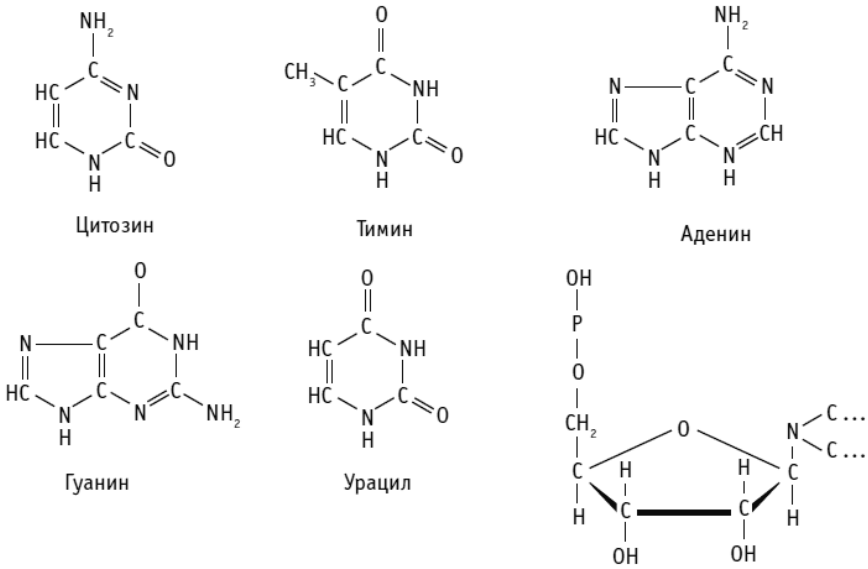


Рибоза



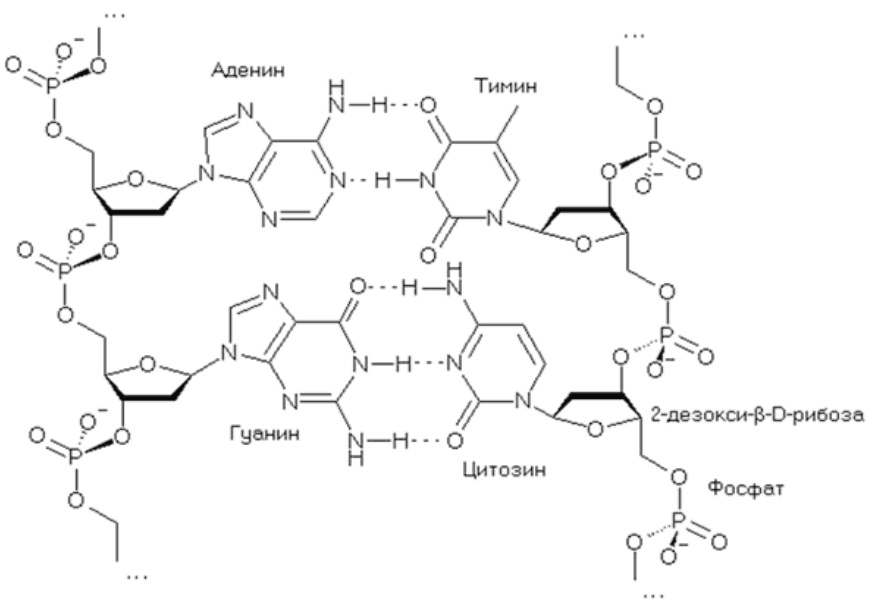
Дезоксирибоза

ДНК включает в себя четыре вида азотистых оснований – аденин (A), гуанин (G), тимин (T) и цитозин (C). Всего четыре, но их комбинация дает невообразимое количество вариантов.



Азотистые основания в составе ДНК

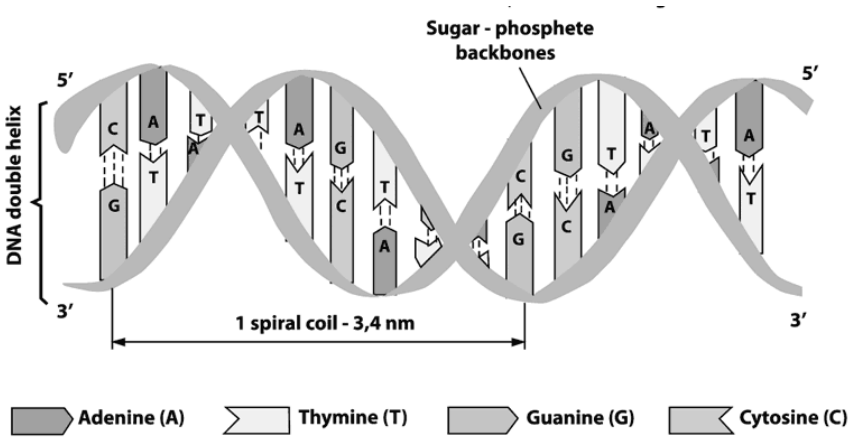
Вся информация о любом организме закодирована при помощи четырех «букв», четырех азотистых оснований – A, G, T и C. Лишь у некоторых организмов, в виде исключения, в составе ДНК может встречаться пятый тип азотистого основания – урацил (U). В человеческой ДНК урацила нет, но он содержится в нашей РНК вместо тимина, которого в РНК нет.



Фрагмент молекулы ДНК. Крупными латинскими буквами обозначены азотистые основания. *T* – тимин, *C* – цитозин, A – аденин *и G* – гуанин.

У клеток-эукариот, которые имеют ядро, ДНК линейная и находится в ядре, а у безъядерных прокариот ДНК кольцевая и находится в цитоплазме.

Молекула ДНК образована двумя полинуклеотидными цепями, спирально закрученными друг около друга и вместе вокруг воображаемой оси, т. е. она представляет собой двойную спираль. Исключение составляют одинарные ДНК некоторых ДНК-содержащих вирусов. Вирусы имеют крайне простое строение и наследственной информации у них мало, потому и ДНК у вирусов небольшая, не нуждающаяся в сложной двухцепочечной упаковке. А многие вирусы вообще обходятся без ДНК, их наследственная информация заключена в более мелких молекулах РНК.

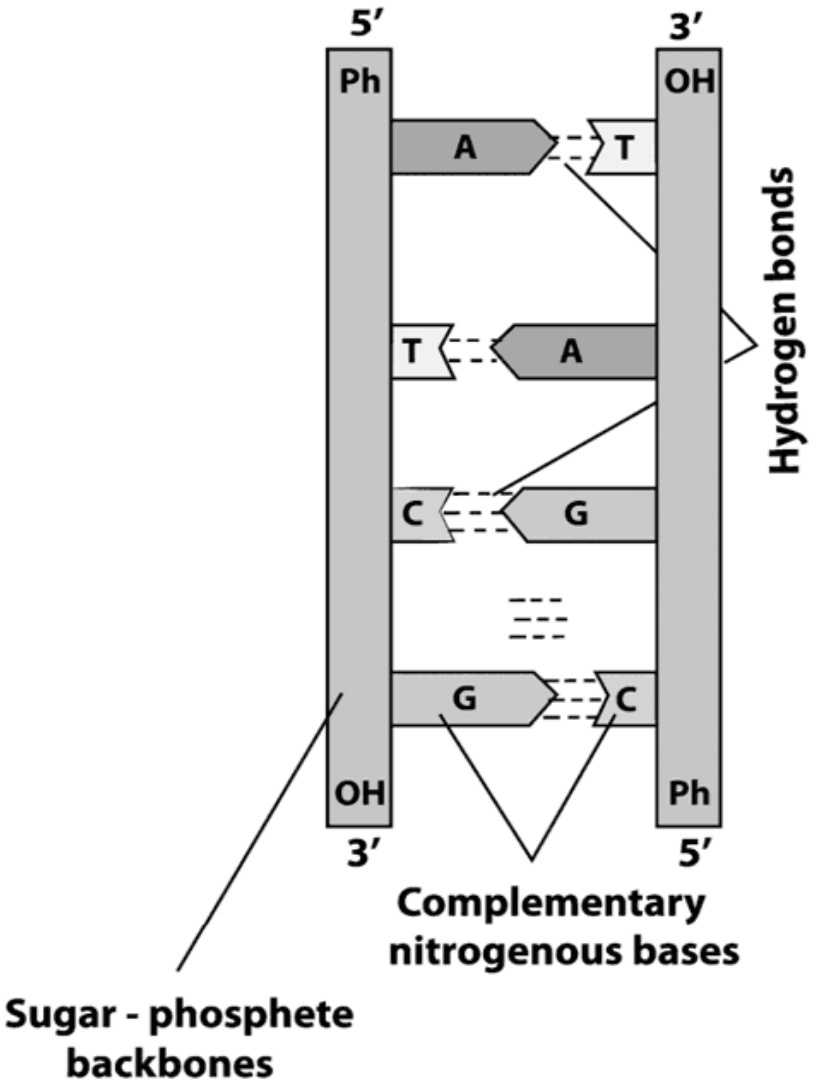


Схематическое изображение фрагмента молекулы ДНК

Диаметр двойной спирали ДНК составляет 2 нанометра, расстояние между соседними нуклеотидами – 0,34 нанометра, на один оборот спирали приходится 10 пар нуклеотидов. Длина молекулы может достигать нескольких сантиметров и иметь молекулярный вес, исчисляемый десятками и сотнями миллионов единиц. Суммарная длина ДНК ядра одной клетки человека составляет около 2 метров! Молекулы ДНК – самые крупные из органических молекул.

Расположение нуклеотидов в двух парных цепях молекулы ДНК строго определенное: против аденина одной цепи в другой цепи всегда располагается тимин, а против гуанина – всегда

цитозин. Между аденином и тимином возникают две водородные связи, между гуанином и цитозином – три водородные связи. Закономерность, согласно которой нуклеотиды разных цепей ДНК строго упорядоченно располагаются (аденин – тимин, гуанин – цитозин) и избирательно соединяются друг с другом, называется принципом комплементарности.



Фрагмент молекулы ДНК: Т – тимин, А – аденин, Г – гуанин, Ц – цитозин, точками показаны водородные связи.

Из принципа комплементарности следует, что

последовательность нуклеотидов одной цепи определяет последовательность нуклеотидов другой.

Функцией ДНК является хранение и передача наследственной информации. Все организмы на нашей планете разные (за исключением клонов)[36] и ДНК у всех тоже разные. Двух полностью схожих молекул ДНК в природе не существует (за исключением ДНК тех же клонов). На этой индивидуальности и основана генетическая криминалистика и судебно-медицинская генетика – любого человека можно со стопроцентной точностью идентифицировать по его ДНК. Точно так же, как и по отпечаткам пальцев, но с отпечатками еще возможны оплошности, а вот с ДНК никаких оплошностей быть не может, это личный уникальный единственный и неповторимый код организма.

Молекулы ДНК обладают способностью к репликации, то есть – к самовоспроизведению, самокопированию. Клетки размножаются делением и каждая из двух дочерних клеток непременно должна получить от материнской полную копию наследственной информации.

Репликация – это главное свойство молекулы ДНК. Новая цепь синтезируется по матрице, в роли которой выступает старая цепь. Процесс проходит с участием ряда ферментов. Одни ферменты «расплетают» двойные цепи ДНК на две одинарные, другие разрезают ДНК на фрагменты, делая процесс копирования более удобным, третьи сшивают эти фрагменты, а самые главные ферменты, называемые ДНК-полимеразами, собирают мономеры в новые цепи.

Мы уже говорили о том, что участок молекулы ДНК (а также некоторых РНК), содержащий информацию об одном отдельном белке, то есть – об одном признаке организма, называют геном.[37] Система записи наследственной информации в виде последовательности нуклеотидов в молекулах нуклеиновых кислот, называют генетическим кодом.

Дискретной единицей генетического кода, кодирующей включение в полипептидную цепь одной аминокислоты, является кодон. Кодоны состоят из трех соседних нуклеотидов.

Каждый кодон соответствует определенной аминокислоте, входящей в состав белков. Каждой аминокислоте соответствует не один, а несколько кодонов, ведь аминокислот 20, а 4 разновидности нуклеотидов дают 64 тройных комбинации. Поскольку нуклеотиды на схемах обозначают буквами, кодоны выглядят как сочетания трех букв.

Первый нуклеотид кодона	Второй нуклеотид кодона								Третий нуклеотид кодона
	У		Ц		А		Г		
У	УУУ	Фен	УЦУ	Сер	УАУ	Тир	УГУ	Цис	У
	УУЦ		УЦЦ		УАЦ		УГЦ		Ц
	УУА	Лей	УЦА		УАА	**	УГА	**	А
	УУГ		УЦГ		УАГ	**	УГГ	Три	Г
Ц	ЦУУ	Лей	ЦЦУ	Про	ЦАУ	Гис	ЦГУ	Арг	У
	ЦУЦ		ЦЦЦ		ЦАЦ		ЦГЦ		Ц
	ЦУА		ЦЦА		ЦАА	Глн	ЦГА		А
	ЦУГ		ЦЦГ		ЦАГ		ЦГГ		Г
А	АУУ	Иле	АЦУ	Тре	ААУ	Асн	АГУ	Сер	У
	АУЦ		АЦЦ		ААЦ		АГЦ		Ц
	АУА		АЦА		ААА	Лиз	АГА	Арг	А
	АУГ*	Мет	АЦГ		ААГ		АГГ		Г
Г	ГУУ	Вал	ГЦУ	Ала	ГАУ	Асп	ГГУ	Гли	У
	ГУЦ		ГЦЦ		ГАЦ		ГГЦ		Ц
	ГУА		ГЦА		ГАА	Глу	ГГА		А
	ГУГ		ГЦГ		ГАГ		ГГГ		Г

Фрагмент таблицы кодонов

Посмотрите на фрагмент молекулы матричной РНК, изображенный в буквенном виде.

АУГГУУГЦУААУЦУУАУГАГААГГУГЦГЦАГГГГГГАААГАУАА

Глаза разбегаются в разные стороны, верно? А это же всего лишь небольшой фрагментик.

Если начать читать кодоны с буквы А, то первой аминокислотой будет метионин, второй – валин, третьей – аланин… И так далее. Если же пропустить букву А и начать читать кодоны с буквы У, второй по счету, то первой аминокислотой будет триптофан, второй – лейцин, и третьей – тоже лейцин… Замена всего одной аминокислоты на другую в молекуле гемоглобина приводит к развитию тяжелого заболевания. Страшно представить последствия синтеза совершенно другого белка вместо заданного. А если такое будет повторяться на разных матрицах… Ужас-ужас-ужас!

Чтобы ужаса не случилось, природа предусмотрела старт-кодон АУГ (аденин – урацил – гуанин), соответствующий аминокислоте метионину, и стоп-кодоны УГА (урацил – гуанин – аденин), УАГ (урацил – аденин – гуанин), УАА (урацил – аденин – аденин) никаким аминокислотам не соответствующие.

Таким образом, синтез любого белка начинается с метионина. Но ведь метионин может быть закодирован в разных

местах на молекуле нуклеиновой кислоты. Что будет, если синтез белка начнется не с того старт-кодона? Ничего хорошего!

К счастью, природа подстраховалась и здесь – обвела стартовый кодон жирным красным маркером. Захочешь – не спутаешь! На самом деле, как вы понимаете, никакого красного маркера нет, а есть несколько нуклеотидов, располагающихся до старт-кодона и после него. Такое окружение сигнализирует о том, что начинать синтез белковой молекулы нужно с этого места, с этого метионинового кода.

В отличие от молекулы ДНК, молекула РНК образована одной полинуклеотидной цепочкой. Исключение составляют некоторые РНК-содержащие вирусы-оригиналы, которые имеют двухцепочечную РНК.

Цепи РНК значительно короче цепей ДНК.

РНК бывает четырех видов: информационная или матричная РНК, транспортная РНК, осуществляющая транспортировку аминокислот к месту синтеза белка, рибосомная РНК и РНК-ферменты, называемые рибозимами.

Все виды РНК принимают участие в процессах синтеза белков, который называется трансляцией.[38] Трансляцию следует отличать от транскрипции,[39] так называется процесс синтеза РНК на матрице ДНК.

Сначала происходит трансКрипция – изготавливается РНК-матрица, а уже на ней происходит трансЛяция – «штамповка» белковых молекул. Буквы «л» следует за буквой «к» точно так же, как трансляция следует за транскрипцией – этот простой прием поможет вам правильно все запомнить.

Транспортные РНК, на долю которых приходится около 10 % от общего содержания РНК в клетке, не только транспортируют аминокислоты к месту синтеза белка, но и выполняют посредническую функцию в синтезе. Каждая аминокислота имеет своего персонального «шофера с машиной» – соответствующую ей и только ей транспортную РНК. Некоторым аминокислотам соответствуют несколько транспортных РНК, но никогда одна транспортная РНК не будет переносить разные аминокислоты.

Рибосомные РНК составляют 80–85 % от общего содержания РНК в клетке. В комплексе с рибосомными белками они образуют органоиды-рибосомы, осуществляющие синтез белка.

Рибозим (от «рибонуклеиновая кислота» и «энзим»[40]) представляет собой РНК, обладающую ферментативным действием. Рибозимы «разрезают» другие молекулы РНК или, напротив, «сшивают» их фрагменты.

Рибозимы применяются в медицине для борьбы с вирусами. Они разрезают вирусную РНК, лишая тем самым вирусы

способности к воспроизводству.

Из правила «один ген кодирует один белок, который определяет один признак» есть два исключения. И если первое можно понять, то второе выходит за рамки допустимого.

Но давайте начнем с понятного, так как-то спокойнее.

Некоторые гены обладают множественным действием – они способны влиять не на один, а на несколько признаков. Такая «многогранность» называется плейотропией, что переводится с греческого как «бóльшее количество превращений».

Плейотропия может быть первичной или вторичной. При первичной плейотропии один ген на самом деле влияет на несколько признаков. Например, у человека ген, определяющий рыжую окраску волос, одновременно обуславливает более светлую окраску кожи и наличие на ней веснушек. При вторичной плейотропии ген по сути дела влияет на один признак, от которого напрямую зависит несколько других признаков. Классическим примером вторичной плейотропии является нарушение синтеза белка крови гемоглобина, приводящее к развитию заболевания, называемого серповидноклеточной анемией. Ген вызывает нарушение синтеза белка, а дальше «нарушенный» гемоглобин приводит к вторичным проявлениям – невосприимчивости к малярии, анемии, увеличению печени и селезенки, поражению сердца и головного мозга.

Но как же быть с концепцией: «один ген – один белок – один признак»? Получается, что плейотропия ей противоречит…

Нет, не противоречит. Просто один белок, образующийся в результате считывания информации с гена, может принимать участие в нескольких процессах, происходящих в организме. Давайте скажем так: «один ген – один белок» и эта концепция будет верной для любого гена.

А будет ли?

Приготовьтесь, сейчас начнется самое интересное. Мы переходим ко второму исключению.

Как, по-вашему, можно объяснить вот такой «парадокс» – мы с вами имеем около двадцати тысяч генов, но при этом в нашем организме синтезируется более ста тысяч белков?

Двадцать тысяч генов и сто тысяч белков! По пять белков на один ген!

По пять разных белков с одного и того же кода?

Как такое вообще возможно?

Это все равно, что отлить пять разных фигур, используя одну и ту же форму для литья, или же построить несколько разных зданий по одному и тому же проекту.

Можно понять, что один белок участвует в различных

процессах в организме и, соответственно, влияет на несколько признаков.

Но как может быть нарушено правило «один ген – один белок»?

Такое даже представить не получается. Ген – это код, определенная последовательность четырех видов азотистых оснований. Код задает аминокислотную последовательность (состав и структуру) белковой молекулы. Как можно по одному и тому же коду «построить» две разные белковые молекулы? Или не две, а пять!

Такого просто не может быть!

Один код – одно вещество.

Но при этом двадцать тысяч генов отвечают за синтез более ста тысяч белков.

Где логика?

Логика в явлении, которое называется альтернативным сплайсингом.

Звучное название, интересный, можно сказать – уникальный процесс.

Сплайсинг представляет собой процесс вырезания определенных нуклеотидных последовательностей (проще говоря – сегментов) из молекулы РНК в ходе процесса ее созревания. Да, не удивляйтесь, РНК, особенно матричные, «созревают» подобно винограду или яблокам.

На самом деле про виноград и яблоки мы вспомнили просто так, для красного словца. Ничего общего с созреванием плодов и ягод созревание РНК не имеет и заключается оно в том, что из молекул РНК удаляются (вырезаются) лишние, ненужные участки, не отвечающие за синтез белка. Эти лишние участки образуются в ходе синтеза молекулы РНК как вспомогательные. Для синтеза РНК они нужны, а для функционирования – нет.

Вообще-то, правильнее было бы назвать этот процесс не «созреванием», а «избавлением от балласта». Но уж как назвали, так и прилепилось. Не в названии суть, а в том, что иногда после вырезания балласта разрезанная молекула РНК может быть «сшита» с пропуском какого-либо нужного, активного фрагмента. Такие «ошибки» приводят к тому, что на матрице «сшитой» РНК синтезируется другой белок, не такой, для синтеза которого матрица изначально предназначалась.

Один ген – один код – разные белки.

Спасибо альтернативному сплайсингу!

Но ген-то ни в чем не виноват. Он честно служит основой для синтеза той РНК, на которую его запрограммировала природа и не стремится нарушать. А что уж там с РНК происходит в

процессе созревания – не генное дело. Но в результате мы имеем то, что имеем – пятикратное превышение количества синтезируемых в организме белков над количеством имеющихся генов.

И при этом правило «один ген – один белок» по сути не нарушается! Первоначальная «несозревшая» матрица РНК никаких отклонений от заданного кодом стандарта не имеет.

Нет, вы оцените красоту этой генетической игры!

И не спешите пугаться – что, мол, за беспредел творится в наших организмах? Вместо правильных белков образуется черт знает что!

На самом деле никакого беспредела в сплайсинге не существует. Все находится под неусыпным наблюдением системы белков, называемых факторами сплайсинга. Эти факторы контролируют образование альтернативно сплайсированных РНК-матриц. «Ошибки» сплайсинга на деле таковыми не являются, поскольку они заранее запрограммированы и позволяют синтезировать несколько белков на основе одного генетического кода. Несколько нужных организму белков, а не каких попало, обратите особое внимание на это обстоятельство.

Допустим, что вы инженер-строитель и застраиваете целую улицу однотипными домами по одному-единственному проекту. Но всякий раз перед началом строительства ваши помощники вносят в проект определенные изменения, благодаря которым дома получаются не однотипными, а индивидуальными. Вы контролируете своих помощников и приступаете к строительству только после того, как убедитесь, что изменения не повредят делу. То есть – ваш сплайсинг безопасен и полезен, потому что в результате улица получается не уныло-однотипной, а красивой. Это же совсем не то, если нерадивые строители сделают что-то не по технологии и в результате постройка обрушится.

А знаете ли вы, что в нашем организме существует так называемая «мусорная ДНК»? Так называют участки молекул ДНК, не выполняющие никакой функции, то есть – не хранящие никакой информации о синтезе белков. С учетом того, что к «мусору» относится более 90 % молекулы ДНК, можно предположить, что нам просто не известны функции этих участков, ведь у природы ничего лишнего и ненужного не бывает. У нее все продумано до мельчайших деталей и ради нескольких «работающих» процентов не будут синтезироваться гигантские молекулы ДНК. По мере развития генетики, количество «мусорной» ДНК будет сокращаться, а количество полезной – расти.

Гены могут иметь различные специальности…

Нет, это не ошибка – действительно могут. По выполняемым функциям все гены подразделяются на структурные и функциональные (проще говоря – на работяг и начальников).

Простые работяги – структурные гены, содержат информацию о белках и РНК и добросовестно передают эту информацию по назначению. Функциональные гены руководят структурными генами, регулируют их работу. В зависимости от вида регуляции, функциональные гены подразделяются на модуляторы (ингибиторы и интенсификаторы), регуляторы и операторы.

Гены-модуляторы усиливают или ослабляют действие структурных генов. Ингибиторы – ослабляют, а интенсификаторы – усиливают.

Ген-оператор «включает» и «выключает» структурные гены для считывания с них информации. Гены, да будет вам известно, включаются при необходимости, а не работают постоянно.

Ген-регулятор руководит работой гена-оператора. Он содержит информацию, на основе которой синтезируется особый белок-репрессор, блокирующий ген-оператор.

Задумывались ли вы когда-нибудь о том, как именно происходит блокировка или нейтрализация действия химических веществ в живых организмах? Путем связывания молекул белков с их молекулами. Можно сказать, что белковая молекула обхватывает молекулу блокируемого вещества «руками и ногами» и, таким образом, не дает ему выполнять свои функции.

В общих чертах транскрипция происходит так.

Ген-оператор объединяет несколько структурных генов в своеобразную «бригаду», которая работает на «стройплощадке» – участке молекулы ДНК, называемом опероном. Ген-оператор выступает в роли бригадира, который руководит рабочими и периодически покрикивает: «Давай-давай, шевелись быстрей!». Бригаде генов помогает в работе высококвалифицированный мастер – фермент РНК-полимераза, запускающий процесс синтеза РНК. Главным же руководителем строительных работ (прорабом) является ген-регулятор, который решает, когда и сколько бригаде-оперону следует работать. Если нужно остановить работу на опероне, ген-регулятор отправляет к гену-оператору посыльного – белок-репрессор. «Шабаш! – командует этот белок гену-оператору. – Хватит работать! Давай расслабляться!». А для возобновления работы ген-регулятор отправляет к оперону другой белок – индуктор, который уводит прочь белок-репрессор. Освободившийся от навязчивого гостя белок-оператор командует своей бригаде: «Начинаем работу!»…

Вот так плавно, сами того не заметив, мы с вами перешли к выработке белков, которая является частью обмена веществ в

живых организмах. Но обмен – это отдельная и очень глубокая тема, которая заслуживает отдельной главы.

Глава седьмая. Обмен веществ и энергии

На молекулярном уровне вы всегда очень заняты. Впрочем, и на клеточном тоже, потому что эти уровни неразрывно связаны между собой. Даже если вам кажется, что вы отдыхаете, ваш организм работает, работает, работает… Вещества синтезируются и распадаются, энергия выделяется и поглощается. Жизнедеятельность организма – это непрерывный обмен веществ и энергии. Для простоты обычно говорят «обмен веществ», без постоянного упоминания об обмене энергии, но надо понимать, что оба этих процесса неразрывно связаны между собой и одно без другого существовать не может.

По-научному совокупность обменных процессов организма называется метаболизмом.

К слову – о птичках. Люди почему-то думают, что метаболизм у каждого свой, особый, индивидуальный. Часто можно услышать фразы вроде: «у меня такой обмен веществ, что я даже во время голодания прибавляю в весе» или «у него такой метаболизм, что он может есть все, что угодно, и оставаться при этом худым». На самом же деле (и простите автору, что он сейчас кого-то расстроит) у здоровых людей метаболические процессы протекают совершенно одинаково, как и положено им протекать у представителей одного биологического вида. Метаболизм нарушается только при некоторых заболеваниях. Что же касается «есть все, что угодно, и оставаться при этом худым», то причиной этого может плохое всасывание питательных веществ в кишечнике или же, к примеру, наличие какого-то заболевания, о котором сам человек не имеет понятия. Ну а если кто-то прибавляет в весе во время голодания, то тут уж одно из двух – или голодание фиктивное, или весы испорчены. На фоне полного отсутствия пищи организм не может откладывать жир про запас, потому что не из чего создавать запасы. Наоборот, жировые запасы будут тратиться.

Мы не можем напрямую усваивать энергию солнечного излучения, да и вообще никто из животных, за исключением некоторых бактерий, на это не способен. Энергию Солнца впитывают растения. В процессе фотосинтеза, с помощью солнечной энергии, растения образуют нужные им органические вещества из неорганических – воды, углекислого газа, азота, кислорода, минеральных солей. Возможность фотосинтеза обеспечивает пигмент хлорофилл, который заодно придает

растениям зеленую окраску.

«Куда растения девают солнечную энергию?» любят спрашивать экзаменаторы.

Вопрос очень простой, но в тоже время сложный и, как говорится, с подковыркой. Можно начать перечислять те вещества, которые растения синтезируют с использованием солнечной энергии, можно просто сказать, что они используют эту энергию для роста, но правильный ответ такой: «Растения (а также содержащие хлорофилл бактерии) преобразуют солнечную энергию в химическую энергию органических соединений».

Давайте познакомимся с фотосинтезом поближе, ведь это самый важный процесс на нашей планете. Без фотосинтеза не было бы растений, а без растений не было бы животных, которые питаются растениями или же другими животными, но в конечном итоге первичным источником пищи всегда являются растения.

В основе процесс фотосинтеза лежит окислительно-восстановительный процесс.

Что такое окисление и восстановление все помнят?

Окисление – это процесс отдачи электронов атомом. Атом отдает свои кровные электроны другому атому и потому настроение у него кислое, и выражение на лице тоже кислое. Окисление – это потеря.

Восстановление – это процесс получения электронов атомом. Атом восстанавливается, отобрав электроны у другого атома. Восстановление напрямую связано с прибавлением, верно? Невозможно восстанавливаться, теряя что-то. Восстановление – следствие получения ресурсов.

Растения в процессе фотосинтеза окисляют воду, а этот процесс сопровождается выделением молекулярного кислорода (O2). Именно поэтому растения называют «легкими планеты». Но обратите внимание на такое обстоятельство – кислород растения выделяют не в процессе дыхания, а в процессе фотосинтеза.

Фотосинтезирующие бактерии могут окислять не воду, а другие вещества, и кислород при этом не образуется.

Сущность фотосинтеза с использованием воды можно выразить следующей формулой:

$$6CO_2 + 6H_2O + Q_{света} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

Углекислый газ и вода при помощи световой энергии превратились в глюкозу и кислород.

У высших растений, тело которых разделено на специализированные органы – листья, стебель и корень, органом фотосинтеза является лист, а органоидами фотосинтеза – хлоропласты (они же пластиды).

Главным компонентом процесса фотосинтеза, название которого переводится как «световой синтез», является зеленый пигмент хлорофилл. Молекула хлорофилла способна запасать энергию света в виде энергии возбужденных электронов и преобразовывать ее в энергию химических связей.

Клеточные органоиды хлоропласты имеют зеленый цвет, благодаря присутствию в них хлорофилла. Также в хлоропластах содержатся вспомогательные пигменты фотосинтеза – каротиноиды, которые имеют оранжевый цвет.

Хлоропласты представляют собой овальные тельца размером до 10 × 4 мкм. В одной клетке листа в среднем содержится 15-20 хлоропластов, а у некоторых водорослей в клетках могут быть только 1 или 2 гигантских хлоропласта, которые называются хроматофорами.

Фотосинтез – это довольно сложный многоступенчатый процесс, который можно разделить на две группы – реакции световой фазы и реакции темновой фазы.

Реакции световой фазы, как нетрудно догадаться из названия, могут происходить только в присутствии света. В эту фазу с использованием световой энергии происходит фосфорилирование находящегося в хлоропластах АДФ до АТФ. При этом выделяется молекулярный кислород, который уходит в атмосферу.

За светофой фазой следует темновая.

Обратите внимание на то, что темновая фаза названа так, поскольку для ее реакций не нужна энергия света. Но это не ночная фаза, которая происходит только ночью. Реакции темновой фазы идут и днем, и ночью, без использования световой энергии.

Реакции темновой фазы представляют собой цепочку последовательных преобразований поступающего из воздуха углекислого газа, с образованием глюкозы и других органических веществ. В этих реакциях используется энергия АТФ, образованного в световую фазу.

Благодаря фотосинтезу из атмосферы поглощается углекислый газ, а в нее выделяется кислород… Кроме того, фотосинтез является основным источником образования органических веществ на нашей планете.

Знаете ли вы, что при фотосинтезе растения используют всего 1 % падающей на них солнечной энергии? Да, представьте – всего 1 %! А продуктивность фотосинтеза составляет примерно 1 грамм органического вещества на 1 кв. метр поверхности зеленых листьев в час.

Фотосинтезирующими организмами являются многие группы бактерий, в частности цианобактерии. У бактерий нет

хлоропластов. Фотосинтез у них происходит на особых внутриклеточных мембранах, которые называются мезосомами, а также в цитоплазме. На мезосомах находятся фотосинтезирующие пигменты, которые, подобно хлорофиллу, превращают световую энергию в химическую. Здесь осуществляется световая фаза фотосинтеза. А темновая фаза проходит в цитоплазме бактериальной клетки.

Фотосинтез надо отличать от хемосинтеза, при котором образование органических веществ происходит за счет окисления различных неорганических соединений. Результат у обоих процессов один и тот же – синтез органических веществ, а суть разная. Ученые, занимающиеся проблемами переработки отходов, возлагают на бактерии-хемотрофы большие надежды. Представьте, как хорошо было бы иметь микроскопических помощников, способных перерабатывать пластик и прочее ненужное в органические вещества, причем – абсолютно экологичным способом, без загрязнения атмосферы и сточных вод! А биомассу (то есть – размножившихся бактерий) можно использовать в хозяйстве. Например, в качестве корма в птицеводстве или животноводстве. Сразу вспоминается фантастическая повесть Александра Беляева «Вечный хлеб», в которой профессор по фамилии Бройер создал саморастущее микробное «тесто», питательное и вкусное. Правда, как это часто бывает в жизни, хорошая задумка – дать голодным «вечный хлеб» – обернулась экологической катастрофой. Едоки не успевали своевременно съедать нужное количество «теста», которого становилось все больше и больше. «Тесто» растет с угрожающей быстротой, превращаясь из драгоценного питательного вещества в страшного врага, вырастая в могучий хлебный потоп, который грозит всеобщей гибелью…». Не помогло и выбрасывание теста в море, где его должны были съесть рыбы. Рыбы тоже не справились. «Тесто» захватило огромное пространство моря… В довершение бед, оно затянуло всю прибрежную полосу, остановило прибой, сравнялось с берегом и поползло на сушу».

Микроскопических переработчиков мусора нужно будет держать под неусыпным контролем, иначе они могут уничтожить все, что создано человеком… Жуткая перспектива! Но пока что можно спать спокойно, потому что переработка мусора бактериями – это перспектива завтрашнего дня.

Происходящий в живых организмах процесс образования органических веществ из более простых соединений называют биологическим синтезом или, сокращенно – биосинтезом. Ключевые слова – «в живых организмах»! Процесс образования

органических веществ в лабораторных или фабричных условиях можно называть биосинтезом лишь в том случае, если в нем участвуют микроорганизмы.

Биосинтез – основа жизнедеятельности любого организма. В процессе биосинтеза образуются вещества и структуры, из которых строится организм, производится постоянное обновление клеток, осуществляется обмен веществ.

У биосинтеза есть одно абсолютное свойство, то есть – не знающее исключений. Биосинтез всегда осуществляется с потреблением энергии! Всегда-всегда-всегда! В результате процессов биосинтеза выделения энергии происходить не может! Живые организмы получают необходимую им энергию посредством разложения сложных веществ на более простые.

Организмы, способные синтезировать органические вещества из неорганических, называются автотрофами (в переводе с греческого – «сами (себя) питающие». Автотрофы являются первичными создателями органического вещества в биосфере, они обеспечивают пищей гетеротрофов («питающихся другими»), организмы которых не способны создавать «органику» из «неорганики». Некоторые биологические виды сочетают автотрофность с гетеротрофностью. Так, например, одноклеточная водоросль эвглена зеленая на свету ведет себя как автотроф, а в отсутствие света – как гетеротроф, поглощающий органические вещества из окружающей среды.

Подавляющее большинство животных, за исключением некоторых одноклеточных организмов, являются гетеротрофами. А что вы скажете насчет растений? Скорее всего – что все растения являются автотрофами. Но на самом деле это не так. В огромном мире растений можно встретить отдельных гетеротрофов, например, широко распространенную в средней полосе нашей страны заразиху или же тропическую раффлезию. Все растения-гетеротрофы, как вы понимаете, являются паразитами, вытягивающими питательные вещества из других растений. А раффлезия, коль уж мы о ней вспомнили, представляет собой чистейшее олицетворение паразитизма. У раффлезии отсутствуют не только органоиды, в которых мог бы проходить процесс фотосинтеза, но и сами листья вместе со стеблем. А зачем они нужны? Все, что корни-присоски вытягивают из растения-хозяина, в качестве которого обычно выступают лианы, поступает прямиком в цветок. И в какой цветок! У некоторых раффлезий цветки вырастают больше метра в диаметре, а вес их может превышать 10 килограммов. Если уж паразитировать, так паразитировать!

Раффлезия

В чем состоит главная особенность автотрофного биосинтеза?

Автотрофный биосинтез является определяющим процессом жизни на Земле, так как в ходе его образуются первичные сложные органические вещества, аккумулирующие энергию в своих химических связях.

В чем состоит главная особенность гетротрофного биосинтеза?

Главной особенностью гетеротрофного биосинтеза является сочетание энергетического и синтетического процессов – разложение органических веществ, поступивших в клетку, ведет к синтезу веществ, необходимых для жизнедеятельности клетки. Разложение сложных органических веществ дает гетеротрофам не только энергию, но и материал для биосинтеза (например – аминокислоты). Основу биосинтеза в любом живом организме составляет синтез белка. Иначе и быть не может, ведь все живое на нашей планете представляет собой белковую форму жизни.

Совокупность всех реакций синтеза органических веществ в живой клетке, сопровождающихся поглощением энергии, называется пластическим обменом, а совокупность реакций расщепления органических веществ, сопровождающихся выделением энергии – энергетическим обменом. Пластический обмен также называют анаболизмом («подъемом», в переводе с греческого), а энергетический – катаболизмом («сбрасыванием»). Широко известные анаболики – это анаболические средства,

вещества, стимулирующие анаболические процессы в организме.[41] Существуют и «катаболики», а точнее – термодженики, препараты, стимулирующие расщепление жира посредством повышения температуры тела на 1-2 градуса. Надо сказать, что любое вмешательство в метаболизм, если только оно не проводится врачом в лечебных целях, является опасным для здоровья. Учтите это!

У аэробных организмов, живущих в кислородной среде и поглощающих кислород в процессе дыхания, выделяют три этапа энергетического обмена: подготовительный, бескислородное окисление и кислородное окисление. У анаэробных организмов, которые в кислороде не нуждаются (а также и у аэробных организмов при недостатке кислорода) третий этап отсутствует.

Подготовительный этап энергетического обмена заключается в расщеплении сложных органических веществ до простых. Полимеры расщепляются до мономеров и этот процесс происходит при участии ферментов.

Все биохимические процессы в клетках протекают при участии определенных веществ-регуляторов, которые обеспечивают нужное течение процессов. Главными регуляторами большинства клеточных процессов являются ферменты. Им помогают витамины и гормоны. Ферменты, витамины и гормоны делают одно дело, но важно понимать разницу между этими веществами.

Ферменты – это вещества, ускоряющие биохимические реакции, которые синтезируются «по месту использования», то есть во всех клетках организма. Белковые ферменты вырабатываются в рибосомах, а РНК-ферменты – в ядре. Клетки не обмениваются ферментами.

Гормоны – это вещества, выделяемые специализированными клетками желез внутренней секреции и оказывающие регулирующее влияние на метаболические процессы. Во-первых, гормоны отличаются от ферментов тем, что они вырабатываются не всеми клетками, а только лишь «особо уполномоченными» и разносятся по организму с кровью.[42] Во-вторых, гормоны могут не только ускорять, но и замедлять биохимические реакции. Проще говоря, фермент – это стимулятор, а гормон – регулятор.

Витаминами называются жизненно необходимые органические вещества, участвующие в метаболических процессах, но не вырабатывающиеся в организме. Витамины мы получаем поступающие извне, с пищей. Исключение составляют витамин D, который образуется в нашей коже под действием ультрафиолетовой части солнечного излучения, и витамин A,

который может образовываться из поступающих с пищей веществ-предшественников. Еще несколько витаминов вырабатываются бактериями, живущими в толстой кишке человека, но, по сути дела, то, что выработано бактериями, а не нами, можно считать поступившим извне.

Обратите внимание на то, что витамины:

– НУЖНЫ НАМ В МИНИМАЛЬНЫХ КОЛИЧЕСТВАХ (их суточные дозировки указываются в миллиграммах);

– НЕ ЯВЛЯЮТСЯ ИСТОЧНИКОМ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ОРГАНИЗМА (то есть – не обладают калорийностью);

– НЕ ЯВЛЯЮТСЯ СТРУКТУРНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ ТКАНЕЙ.

Эти отличия очень важны потому что они позволяют отделять витамины от продуктов питания. Но вообще-то, чтоб вы знали, строгого определения витаминов в биологии не существует.

И еще обратите внимание на слова «жизненно необходимые вещества». Витамины незаменимы. Если организм некоторое время не получает какой-то витамин, то развивается заболевание.

В былые времена настоящим бичом человечества была цинга, заболевание, вызванное дефицитом витамина С или аскорбиновой кислоты.[43] Этот витамин очень важен (да, собственно, «неважных» витаминов не существует) поскольку он участвует в синтезе белка коллагена, образующего каркас для органов и тканей. Если коллагена становится меньше необходимого или если образуются «дефективные» волокна, в которых его мало, то организм начинает «рассыпаться» – кровеносные сосуды становятся ломкими, отчего возникают множественные кровотечения, зубы выпадают, развивается анемия, снижается иммунитет… В конечном итоге человек от цинги умирает. Но на начальной стадии, пока дело не зашло очень далеко, цинга лечится просто. Достаточно дать организму необходимое количество аскорбиновой кислоты, как синтез коллагена нормализуется и симптомы быстро исчезают. Профилактика цинги тоже весьма проста – с растительной пищей взрослому человеку нужно получать в сутки около 100 миллиграмм аскорбиновой кислоты. 50 грамм черной смородины или один крупный апельсин дадут такое количество витамина.

Но самое важное – узнать причину заболевания или, хотя бы, установить опытным путем, чем она лечится. С цингой человечество очень долго не могло разобраться. Первая из известных нам «эпидемий»[44] цинги разразилась во время крестовых походов, участники которых подолгу питались вяленым или засоленным мясом с сухарями, то есть продуктами, в которых витамина С практически не содержалось.

В XI–XIII веках, когда рыцари пытались завоевывать Палестину, исследованием причин возникновения цинги никто не занимался. Кто-то считал цингу наказанием за грехи, кто-то – порчей, насланной врагами, кто-то связывал ее с плохой водой… С окончанием крестовых походов цинга исчезла, чтобы вернуться во второй половине XV века с началом первых кругосветных мореплаваний. Надо сказать, что крестоносцам было легче. Они шли по земле, а не плыли по воде, и потому не были полностью оторваны от растительной пищи. Хоть что-то им иногда перепадало – лук, чеснок, морковь, яблоки, сливы и прочие дары природы. На кораблях же такой пищи не было совсем. Моряки же во время плаваний питались лишь галетами и солониной. Свежая пища, в том числе и растительная, оказывалась на столах только во время стоянок, ну еще немного можно было взять с собой и есть примерно в течение недели после отплытия, но не более того.

Португальский мореплаватель Васко да Гама, доплывший в конце XV века вокруг Африки до Индии, потерял из-за цинги более 60 % своего экипажа! Британец Джордж Ансон за время кругосветного плавания, растянувшегося на 4 года, потерял три четверти своего двухтысячного экипажа, и бóльшую часть потерь «обеспечила» цинга.

Моряки, в отличие от крестоносцев, не только страдали от цинги, но и пытались установить причину этого страшного заболевания. Было ясно, что цинга связана с длительным плаванием, но что именно ее вызывает? Сначала грешили на «плохой» морской воздух, затем стали подозревать, что цингу вызывает тяжелая матросская работа, была даже версия, связывающая цингу с вынужденным половым воздержанием… Наконец-то люди задумались о том, а не виновата ли во всем пища, но, начав мыслить правильно, свернули не туда, куда было нужно. Вместо того, чтобы подумать о рационе, решили, что причина в плохом переваривании пищи, вызванном не то самим морем, не то нелегкой морской службой. Ход рассуждений был примерно таким – во время плавания пища плохо переваривается и начинает гнить в кишечнике, это гниение постепенно распространяется по всему организму, вызывая цингу. Как с этим бороться? Да очень просто! У гниющей пищи реакция щелочная, поэтому для лечения цинги надо принимать внутрь что-то кислое.

На этом этапе люди вплотную подошли к правильному решению, потому что кислый лимонный сок или, скажем, кислая капуста могут дать организму нужное количество витамина С. Однако, вместо кислых растительных продуктов, на кораблях стали использовать витриоловый эликсир – ароматизированный

слабый раствор серной кислоты. Иногда, правда, мог использоваться уксус, но от него толку не было, поскольку в этом натуральном продукте витамина С содержится очень мало. Подобный подход к лечению цинги просуществовал добрую сотню лет, несмотря на то, что толку от него не было никакого.

В 1747 году судовой хирург британского военного корабля «Солсбери» Джон Линд решил провести эксперимент, который стал первым клиническим исследованием в истории медицины.[45] Когда у членов команды появились первые признаки цинги, Динд отобрал двенадцать моряков со схожими симптомами, разбил их на шесть пар и назначил им одинаковое питание. А вот лечение у каждой пары было своим. Первой ежедневно давали по кварте[46] сидра, второй – витриоловый эликсир, третья получала уксус, четвертой давали по полпинты[47] морской воды, пятой – по два апельсина и одному лимону; шестой – растертую смесь чеснока, хрена, горчичных зерен, перуанского бальзама[48] и мирры.[49] Была у Линда и контрольная группа, члены которой не получали никакого лечения, за исключением слабительного.

Если вас удивило то, что в эксперименте участвовала морская вода, то на самом деле в этом нет ничего удивительного. Морской водой, которой за бортом всегда было вдоволь, моряки пытались лечить любые болезни, начиная с несварения желудка и заканчивая сифилисом.

За неделю стало ясно, что лучше всего от цинги помогают апельсины и лимоны. Один из членов пятой группы на седьмой день вернулся на службу, а другой чувствовал себя настолько хорошо, что стал помогать Линду в лазарете. Первая группа, получавшая сидр, в котором витамина С значительно меньше, чем в цитрусовых, выглядела не так хорошо, как пятая, но все же чувствовала себя лучше прочих групп.

Надо сказать, что цитрусовые попали в эксперимент Линда не случайно. О том, что эти плоды помогают при цинге, писал еще в первой половине XVII англичанин Джон Вудалл, главный хирург Английской Ост-Индской компании.[50] В трактате «Помощник хирурга», опубликованном в 1617 году, Вудалл указывал такие противоцинготные средства, как ложечница,[51] корень хрена, полынь, настурция, щавель, лаймы, лимоны, апельсины и тамаринд[52] (все эти продукты богаты витамином С). Рекомендация Вудалла использовать их для лечения цинги была абсолютно верной, но на протяжении 130 лет никто на нее внимания не обращал. «Помощник хирурга» вообще не пользовался известностью. Точно так же не стал популярным и «Трактат о цинге» Джеймса Линда, опубликованный в 1753 году. Научная общественность его проигнорировала. Лишь в 1795 году

Адмиралтейство[53] приказало выдавать лимонный сок на всех британских кораблях. Произошло это после эксперимента, проведенного годом ранее по инициативе контр-адмирала Алана Гарднера. На борту корабля «Саффолк» во время двадцатитрехнедельного безостановочного плавания в Индию команде ежедневно выдавалось по 2/3 унции[54] лимонного сока. Мера оказалась действенной – выраженных случаев цинги не наблюдалось.

А теперь давайте вернемся к энергетическому обмену.

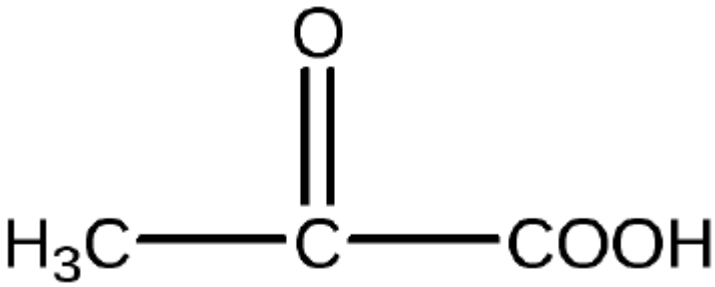
На подготовительном этапе белковые молекулы расщепляются до аминокислот, жиры – до глицерина и карбоновых кислот, углеводы – до глюкозы, а нуклеиновые кислоты – до нуклеотидов. Полимеры превращаются в кучи мономеров. Этот процесс в пищеварительном тракте осуществляется пищеварительными ферментами, а в клетках – ферментами лизосом.

Подготовительный этап энергетически нерезультативен для организма. Вся энергия, высвобождающаяся при расщеплении сложных органических веществ до простых, не усваивается организмом, а рассеивается в виде тепла. К сожалению. Значение подготовительного этапа заключается в подготовке материала для получения энергии – небольших органических молекул, а не в получении энергии как таковой.

Следующий этап – этап бескислородного окисления, также называют этапом гликолиза (расщепления глюкозы), поскольку главным источником энергии в клетке является глюкоза.

Гликолиз – это сложный многоступенчатый процесс, включающий в себя десять последовательных реакций. Во время этого процесса происходит дегидрирование глюкозы, которая в результате ряда ферментативных реакций превращается в две молекулы пировиноградной кислоты (ПВК), при этом суммарно образуются 2 молекулы АТФ и восстановленная форма переносчика водорода НАД·H_2:[55]

$C_6H_{12}O_6 + 2АДФ + 2H_3PO_4 + 2НАД^+ \rightarrow 2C_3H_4O_3 + 2АТФ + 2H_2O + 2НАД·H_2$



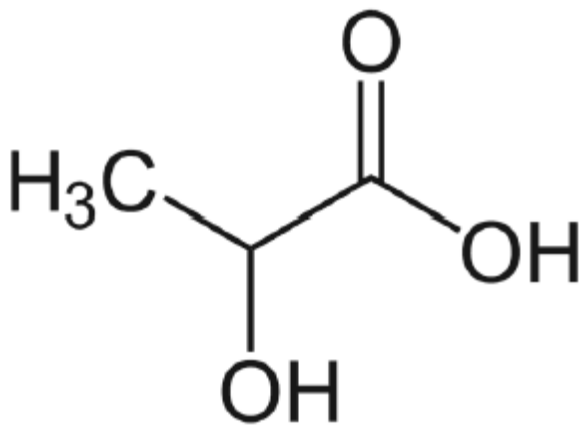
Структурная формула пировиноградной кислоты (*C3H4O3)*

Дальнейшие превращения пировиноградной кислоты зависят от присутствия в клетке кислорода. Если кислорода нет, то у дрожжей[56] и растений происходит спиртовое брожение, при котором сначала образуется уксусный альдегид (CH_3COH), а затем – этиловый спирт (C_2H_5OH):

$$C_3H_4O_3 \rightarrow CO_2 + CH_3COH,$$
$$CH_3COH + НАД{\cdot}H_2 \rightarrow C_2H_5OH + НАД^+$$

У животных и некоторых бактерий при недостатке кислорода происходит молочнокислое брожение с образованием молочной кислоты:

$$C_3H_4O_3 + НАД{\cdot}H_2 \rightarrow C_3H_6O_3 + НАД^+$$



Структурная формула молочной кислоты (*C3H6O3)*

В результате гликолиза одной молекулы глюкозы высвобождается 200 кДж, из которых 120 кДж рассеивается в виде тепла, а 80 кДж запасается в связях АТФ. Надо отметить, что

живые организмы относятся к энергии с ужасающей расточительностью. Мало того, что отдают в пространство ту энергию, которая выделяется при переваривании пищи, так еще и 3/5 энергии, извлекаемой из молекул глюкозы, теряют. Ужас!

Третий этап энергетического обмена – это кислородное окисление или дыхание (имеется в виду клеточное дыхание). Суть его заключается в полном расщеплении пировиноградной кислоты, которое происходит в митохондриях в присутствии кислорода. Пировиноградная кислота распадается до водорода и углекислого газа. Выделившаяся при этом энергия используется для синтеза АТФ. В общем виде этот процесс выглядит так:

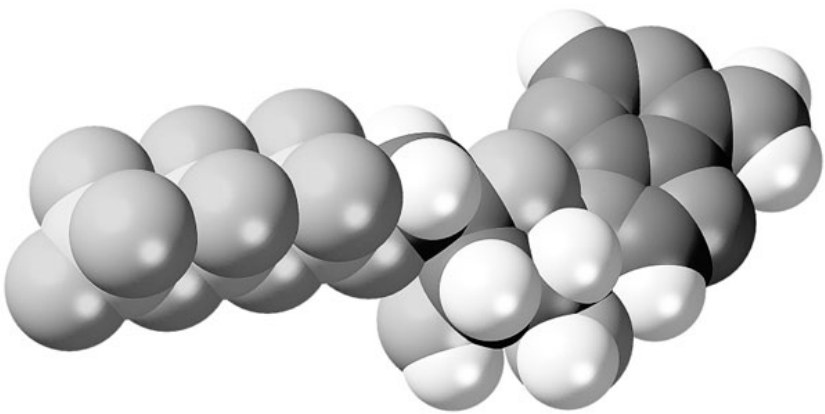
$$C_6H_{12}O_6 + 6H_2O \rightarrow 6CO_2 + 4АТФ + 12H_2$$

Последним этапом является окисление пар атомов водорода с участием кислорода до воды с одновременным фосфорилированием АДФ до АТФ.

Суммарная реакция расщепления глюкозы до углекислого газа и воды выглядит следующим образом:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 38АТФ + Q_т$$
(тепловая энергия)

Одна молекула глюкозы заряжает 38 «батареек», то есть восстанавливает 38 молекул АТФ. Неплохо, но в идеале их могло бы быть 95 (если бы усваивалась вся извлекаемая из молекулы глюкозы энергия).



Молекула АТФ

Зачем вообще нужна АТФ?

Почему бы природе не устроить так, чтобы живые организмы напрямую использовали содержащуюся в глюкозе энергию? Выше уже говорилось о том, что молекулы АТФ нужны для транспортировки энергии от места высвобождения и связывания к месту использования. Но почему бы не доставлять к месту использования непосредственно молекулы глюкозы? Они же мельче, чем молекулы АТФ.

Дело в том, что, с точки зрения клеточных реакций, при окислении молекулы глюкозы выделяется очень много энергии, гораздо больше, чем нужно для питания одного клеточного процесса. Молекулу глюкозы образно можно сравнить с оптовым складом энергии, а АТФ – с розничной фасовкой товара.

Обмен жиров (липидов), углеводов и белков можно охарактеризовать одной фразой: «съеденные полимеры расщепляются на мономеры, из которых организм вырабатывает нужные ему полимеры».

Все знают, что запасы энергии животные организмы откладывают в виде жиров.[57] И это совершенно правильно, ведь жиры – это наиболее энергоемкая группа органических веществ. Однако в организме животных наряду с жирами существует и другая форма энергетического запаса – углеводная. Это гликоген, похожий на крахмал углеводный полимер, состоящий из множества молекул глюкозы. Он представляет собой форму запаса глюкозы у животных.

Вот зачем нам нужен гликоген? Неужели мы не можем обойтись без его запасов в клетках печени и скелетных мышц, а также и в других клетках? У нас же есть жировой запас, более энергоемкий, чем углеводный…

Энергоемкость – дело хорошее. Удобнее, а, значит, выгоднее постоянно таскать на себе энергию в виде жиров, а не в виде углеводов. Но есть одна загвоздка – извлечение энергии из жиров представляет собой довольно длительный процесс. Расщепить гликоген на глюкозу, а глюкозу на воду и углекислый газ гораздо быстрее. А «успех – это успеть», не так ли? Гликоген представляет возможность быстрого получения энергии, а уже следом за ним «подтягиваются» жиры. Основной энергозапас мы храним в компактных жирах, а запас «немедленного реагирования» – в гликогене. Это очень мудрое распределение, потому что в жизни бывают ситуации, когда до расщепления жиров можно просто не дожить. Например – при встрече с медведем в тайге или с грабителем на ночной улице. В экстремальных ситуациях можно надеяться только на глюкозу с гликогеном, а не да «долгоиграющие» жиры.

Не надо путать основной источник энергии с основной формой ее запаса! Основным источником энергии в нашем организме являются углеводы потому, что их доля в суточном рационе вдвое превышает вместе взятые доли белков и углеводов. Если кто не в курсе, то рекомендуемое врачами и природой соотношение белков, жиров и углеводов в рационе здорового взрослого человека составляет 1:1:4.

Обратите внимание на то, что жиры, полученные с пищей, не могут непосредственно сразу же откладываться в виде запасов. Пищевые жиры в организме расщепляются, а про запас откладываются те жиры, которые синтезируются организмом из продуктов расщепления пищевых жиров.

Напрашивается вопрос – зачем организму нужно тратить время и ресурсы сначала на расщепление пищевых жиров, а затем на синтез своих собственных жиров? Не проще было бы сразу откладывать то, что получено с пищей?

Нет, не проще!

Во-первых, жир жиру рознь. Жиры – это общее название для большой группы веществ, отдельные представители которой весьма сильно отличаются друг от друга по строению и свойствам. Клетки жировой ткани генетически «настроены на определенную волну», то есть способны накапливать конкретные виды жиров, свойственные данному биологическому виду. Жир человека и жир свиньи отличаются друг от друга так же, как «Война и мир» отличается от «Преступления и наказания» (несмотря на то, что оба этих романа входят в число классических произведений русской литературы).

Во-вторых, жиры не могут циркулировать в крови, потому что это опасно для жизни. Жир нерастворим в воде и, соответственно, не может растворяться в состоящей из воды плазме крови. Молекулы однородных жиров в водной среде могут группироваться вместе, образуя жировые шарики. Вспомните про «пятна» жира на поверхности супа, чтобы представить, какие крупные конгломераты могут образовывать жиры. Иногда весь жир, находящийся в тарелке с супом, сливается в одно большое пятно. Так вот, эти шарики жира могут закупоривать кровеносные сосуды (по-научному это называется «жировая эмболия»). В результате такой закупорки участки органов, а то и все органы целиком, лишаются питания и отмирают. Если страдают такие жизненно важные органы, как головной мозг, сердце или легкие, то дело может закончиться не просто болезнью, а смертельным исходом.

Но на наше с вами общее счастье жиры расщепляются в желудочно-кишечном тракте на молекулы глицерина и жирных

кислот, которые всасываются в кровь и циркулируют с нею по организму, не нанося ему вреда. Глицерин растворим в воде, а молекулы жирных кислот, большинство которых в воде не растворяются, в капли собираться не способны и потому не могут закупоривать сосуды.

Глава восьмая. Организменный уровень организации

Что такое организм?

Можете дать свое собственное определение прежде, чем читать дальше.

Академик Владимир Иванович Вернадский характеризовал организм как «биохимическую отдельность живого вещества биосферы». Другой академик – Иван Петрович Павлов, выражался иначе: «организм – это в высочайшей степени саморегулирующаяся, сама себя поддерживающая, восстанавливающая, поправляющая и совершенствующая система».

Более четкая формулировка звучит так: «Организм – это отдельная (или – дискретная) единая биосистема, состоящая из различных органов и тканей, которые взаимодействуют между собой и с внешней средой».

А можно сказать и проще: «организм – это биологический объект, возникший в результате эволюции жизни на нашей планете».

Все живое представлено в природе в виде организмов.

Организм – это биологическая система открытого типа, то есть система, взаимодействующая с окружающей средой.

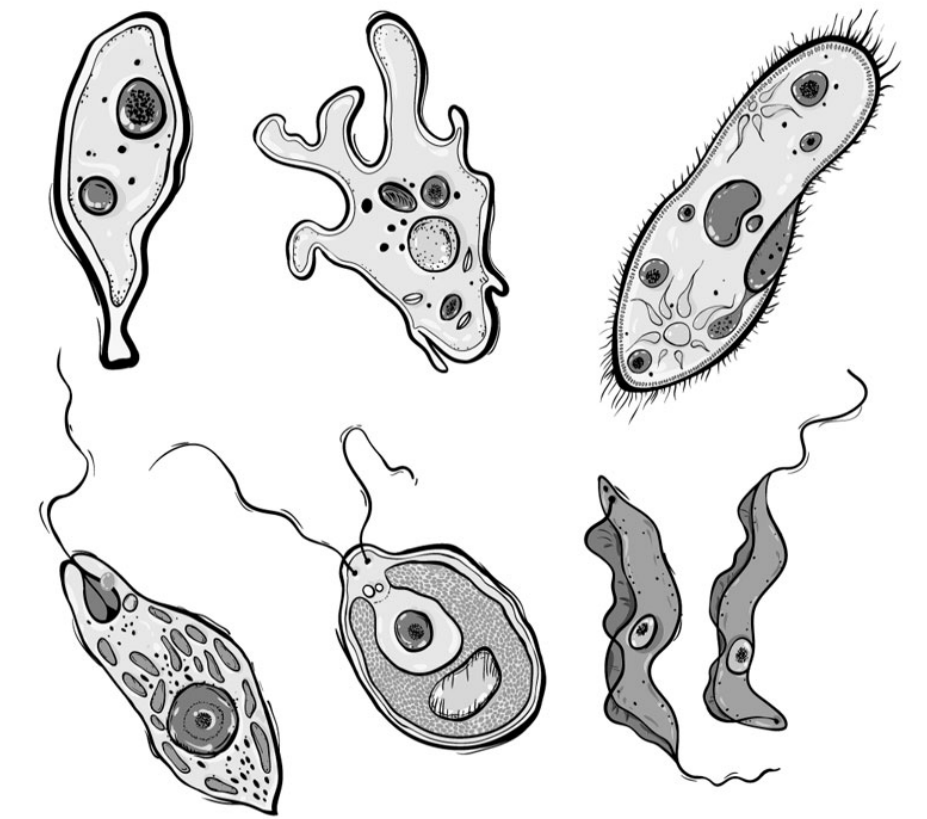
Организм обладает всеми свойствами живой природы – обменом веществ и энергии, питанием, дыханием, выделением, раздражимостью, способностью к размножению, способностью к саморегуляции, приспособленностью к среде обитания и т. д.

Место организменного уровня в организации жизни

Все организмы разделяют на две большие группы – одноклеточные и многоклеточные. Клетки одноклеточных организмов одновременно представляют собой как клеточный, так и организменный уровни организации жизни.

Все организмы, как вы уже знаете, делятся на прокариоты и эукариоты. Клетки-прокариоты не имеют ограниченных мембраной ядер и лишены большинства органоидов, а клетки-

эукариоты имеют ядро и полный набор органоидов. Среди одноклеточных организмов могут встречаться как эукариоты (бактерии), так и прокариоты (простейшие), а все многоклеточные организмы являются эукариотами. Это логично, ведь более сложное строение дает больше возможностей для взаимодействия между клетками, для объединения их в одно целое.



Одноклеточные организмы

Сможете выразить одним словом разницу между одноклеточными организмами и клетками многоклеточных организмов?

В чем заключается разница?

Правильный ответ – самостоятельность! Разница между одноклеточными организмами и клетками многоклеточных организмов заключается в самостоятельности.

Одноклеточные организмы осуществляют все функции, присущие организмам, в частности они самостоятельно добывают пищу и, в большинстве своем, способны передвигаться. У

одноклеточных организмов есть органоиды «специального назначения», помогающих им выполнять «организменные» функции. А вот специализации или дифференцировки у одноклеточных организмов нет, все они (при условии принадлежности к одному биологическому виду) совершенно одинаковы по строению и функциям. Дифференцируются по строению и функциям только клетки многоклеточных организмов, которые к самостоятельно существованию не способны. В первую очередь потому не способны, что не могут самостоятельно добывать пищу.

Количество клеток и их типов в многоклеточном организме варьируется. Так, например, организм гидры состоит всего из семи типов клеток, а в организме человека насчитывается более ста типов клеток (гордитесь!).

Жизнь на нашей планете началась с одноклеточных организмов. Принято считать, что в процессе эволюции разные организмы в разное время приходили к многоклеточности своими особыми путями.

Почему приходили?

Потому что это выгодно, ведь другого довода, кроме выгоды, у эволюции нет.

Многоклеточные организмы способны более успешно противостоять хищникам, чем одноклеточные, способны более успешно приспосабливаться к изменяющимся условиям окружающей среды, а также способны питаться более крупными жертвами. Выгода налицо!

Как известно, у любой медали есть две стороны и за все приходится платить. У многоклеточности есть один большой недостаток – высокие энергетические затраты. Для поддержания жизнедеятельности многоклеточного организма, состоящего из энного количества клеток, требуется гораздо больше энергии, чем для жизнедеятельности такого же количества одноклеточных организмов. Но эти расходы оправдываются, иначе на нашей планете не было бы многоклеточных организмов, совсем и вообще.

Что нужно для объединения множества клеток в единый организм?

Вообще-то перечень необходимого может растянуться на добрый десяток страниц, но главных условий три.

Во-первых, клетки должны обладать способностью вырабатывать сигнальные вещества, которые позволят им взаимодействовать между собой. Без взаимодействия единый организм не создать.

Во-вторых, клетки должны обладать способностью к

соединению друг с другом. Только скованные одной цепью, только связанные одной целью – выжить и оставить потомство, могут считаться организмом.

В-третьих, нужен «наполнитель» межклеточного пространства, какой-то прочный и эластичный белок.

Знакомо ли вам слово «матрикс»?

Матрикс – это не матрица, а вещество, заполняющее определенное пространство. Матрикс бывает разным. Так, например, ядерный матрикс формирует основу клеточного ядра, клеточный матрикс заполняет клетку. А есть еще и внеклеточный или межклеточный матрикс – смесь различных веществ, в которой находятся клетки одноклеточных и многоклеточных организмов. Эволюционный смысл внеклеточного матрикса заключается в том, что его образование явилось решительным, если можно так выразиться, шагом к объединению разобщенных клеток в единое целое. Клетки начали формировать общую среду, которая объединяла их, защищала их и давала возможность общаться друг с другом – ведь именно во внеклеточный матрикс выделялись сигнальные вещества.

В биологии есть две великих загадки – появление первой клетки и появление первого многоклеточного организма. Ни то, ни другое пока еще не удалось смоделировать в лабораторных условиях. Дальше известного вам эксперимента Миллера-Юри ученые пока еще не продвинулись. Увы, увы, увы…

К месту можно вспомнить два недавних эксперименты по эволюции многоклеточности, проведенные исследователями Миннесотского университета.

В первом эксперименте моделью служли пекарские дрожжи-одноклеточные грибы, которые размножаются почкованием. Когда материнская клетка достигает определенных размеров и определенной степени зрелости, от нее отделяется более мелкая дочерняя клетка, которая растет и дает новые «почки».

Дрожжи были выбраны для участия в эксперименте потому что эти одноклеточные организмы способны слипаться друг с другом, образуя кластеры[58] разных размеров. Исследователи отбирали для дальнейшего наблюдения самые крупные кластеры, размножая образующие их клетки. Таким образом, при помощи искусственного отбора в лабораторных условиях сформировалась группа клеток, отличающаяся гипертрофированной способностью к объединению, способностью к созданию особо крупных кластеров. Со временем эти кластеры начинали вести себя как единые организмы – происходила синхронизация жизненных циклов объединившихся клеток. Клетки синхронно росли и синхронно начинали размножаться, образуя дочерний кластер.

Вот он – первый шаг на пути к многоклеточному организму.

Правда, у этого интересного эксперимента было два условных «недостатка».

Во-первых, дрожжи когда-то имели многоклеточных предков, от которых могли унаследовать способность к объединению. Дрожжи утратили многоклеточность когда перешли к обитанию в жидких и полужидких средах, богатых питательными веществами. В таких шикарных условиях энергоемкая многоклеточность стала нецелесообразной и дрожжи вернулись к одноклеточному существованию. Но память-то в генах осталась…

Во-вторых, в ходе эксперимента не произошло дифференциации (специализации) клеток, составляющих кластер. Все клетки оставались абсолютно идентичными, не было даже морфологического разделения на покровные и внутренние, не говоря уже о чем-то большем.

Впоследствии этот эксперимент был повторен с другой моделью – одноклеточными водорослями хламидомонада Рейнгардта, у которых никогда не было многоклеточных предков и «коллективной» генетической памяти. Искусственный отбор производился точно так же, как и в предыдущем эксперименте – для дальнейшего наблюдения отбирались клетки, образующие наиболее крупные кластеры. Через 50 поколений (в случае с водорослями это недолго) были получены кластеры с синхронными жизненными циклами клеток. Но, в отличие от дрожжей, которые делились единым кластером, водоросли для деления расходились порознь, но при этом оставались внутри общей слизистой оболочки.

Эти эксперименты подтверждают мнение о том, что одноклеточные организмы могли приходить к многоклеточности различными путями. Пожалуй, только в этом и состоит их научная ценность, ведь превращения группы одноклеточных организмов в полноценный многоклеточный организм с дифференцированными клетками достигнуто не было.

Но зато нам никто не мешает призвать на помощь воображение… Разумеется, в строго научных рамках, без какой-либо фантастики.

Прежде всего нужно дать ответ на такой вот вопрос – почему естественный отбор, который является движущей силой эволюции, вдруг переключился с отдельных одноклеточных организмов на их скопления?

Проще говоря – что должно было случиться для того, чтобы в поколениях начали закрепляться признаки (мутации), благоприятные для коллективного, а не для одиночного существования? Как и почему это произошло?

Второй вопрос касается размножения. Как и почему клетки перешли от размножения общим, «поголовным» делением (или почкованием, если угодно) к размножению посредством особо уполномоченных на то половых клеток?

Естественный отбор отбирает только выгодное. Для того, чтобы в поколениях начал закрепляться «коллективизм» – групповое существование, этот коллективизм должен стать выгодным, благоприятным для выживания.

Например – собравшись в подобие шара, одноклеточные организмы окружали себя защитной пленкой, состоящей из склеившихся друг с дружкой клеток. Такая пленка могла быть покрыта защитной слизью. Наверное, не нужно объяснять, какие преимущества дает подобное объединение.

Другой пример – собравшись в плоский «блин», одноклеточные организмы могут удерживаться на поверхности воды, где больше солнечного света и кислорода, в то время как отдельные клетки обречены «барахтаться» где-то внизу, в толще воды. Чем не выгода?

При таком положении дел преимущественно станут выживать клетки-коллективисты. Вот вам и «переключение» естественного отбора на коллективное существование.

С первым вопросом мы разобрались, можно сказать, играючи, а вот найти ответ на второй вопрос гораздо труднее.

Существует весьма интересная гипотеза, выдвинутая новозеландским биологом Полом Рейни.

Допустим, что группа одноклеточных водорослей склеилась друг с другом так, что распасться этот кластер уже не может. Кластер плавает на поверхности воды, клетки получают много света и кислорода, и все счастливы. Только вот с размножением проблема – когда одноклеточные организмы со всех боков зажаты своими собратьями, да еще и надежно склеены с ними, нет никакой возможности для массового размножения делением. Ключевые слова – «для массового», отдельные клетки могут размножаться в случае гибели кого-то из соседей для того, чтобы заполнить образовавшуюся пустоту.

Рейни предположил, что среди множества клеток, честно склеившихся в единый кластер, могут попадаться клетки-обманщики, которые поверхностного клея не вырабатывают, с соседями не склеиваются и могут в любой момент покинуть кластер для размножения. Эти клетки пользуются всеми преимуществами группового бытия, но не поддерживают целостности кластера, потому они и называются «обманщиками».

Надо уточнить, что естественный отбор не может действовать на отдельно живущую клетку на групповом уровне, то есть не

может закреплять у отдельных клеток, не объединенных в кластер, признаков, которые благоприятны для групповой жизни. На отдельную клетку отбор действует на индивидуальном уровне.

Кто сможет дать потомство – «честные» клетки или «обманщики»?

Разумеется – «обманщики». Их интенсивное размножение приведет к росту числа клеток, не образующих поверхностного клея и, в результате, очень скоро кластеров не станет. Надо как-то бороться с «обманщиками», а лучше всего – возложить на них почетную функцию продолжения рода. Пусть они покидают свои родные кластеры для того, чтобы создавать новые.

Но для размножения клеточных колоний посредством клеток-обманщиков нужны два условия. Первое – «обманщиков» в кластерах должно быть немного, иначе кластеры разрушатся. Второе – создание новых кластеров возможно лишь в том случае, если «обманщики» будут часто мутировать обратно – в «честные» клетки, производящие клей (такое, представьте, возможно).

Вполне себе логичная гипотеза Рейни начинает «буксовать» на стадии дифференцировки клеток, разделения их по тканям и органам. Невозможно представить (даже с помощью компьютера) сколько должно произойти случайных мутаций для того, чтобы создать структурно упорядоченный и слаженно функционирующий многоклеточный организм.

Если вы раз за разом станете выплескивать на чистый лист бумаги чернила из пузырька, то какова будет вероятность получения подобным образом стихотворения Михаила Юрьевича Лермонтова «Белеет парус одинокий»?

Ой!

Вот примерно то же можно сказать и про мутации, приводящие к появлению полноценного многоклеточного организма. Однако, Рейни объясняет происхождение многоклеточных организмов не только мутационной, но и модификационной изменчивостью.

Что за зверь такой – модификационная изменчивость?

Так называют изменение организма под воздействием различных факторов окружающей среды без изменения его генотипа. В основном модификации носят приспособительный характер.

Самый распространенный и один из наиболее наглядных примеров приспособительной модификации – это развитие мускулатуры (увеличение объема мышечных клеток) при регулярной физической нагрузке.

Другим примером может служить загар – потемнение кожи под воздействием ультрафиолетовых лучей, вследствие

образования и накопления в ней пигмента меланина. Загар представляет собой защитную реакцию организма на чрезмерное облучение солнечными лучами.

По внешнему виду карася, который по-научному называется «серебряным карасем», знатоки могут с уверенностью судить о том, в каком водоеме он вырос – в крупном озере или в небольшом пруду. «Крупно-озерный» карась гораздо больше «прудового» и тело у него более округлое. Причина в питании – в крупном водоеме много пищи, поэтому тамошние караси вырастают до значительных размеров.

Одно и то же растение может выглядеть по-разному в зависимости от того, растет оно высоко в горах или же в долине. Горные растения обычно низкорослые, с глубоко уходящими в почву корнями. Низкорослость и сильно развитая корневая система являются следствием низкого содержания питательных веществ в почве. Так же на рост горного растения влияют такие условия, как более холодная температура воздуха и недостаток влаги. В долинах, где почва питательнее, влаги больше и воздух теплее, растения вырастают выше своих горных «собратьев», а вот их корневая система развита хуже. А зачем ее интенсивно развивать, если в поверхностном слое почвы достаточно питательных веществ и достаточно воды?

Если растение растет в тени, то оно будет иметь более крупные, чем обычно, листья, для того, чтобы улавливать как можно больше солнечного света, необходимого для фотосинтеза. А вот если растение растет в засушливой местности, то его листья будут мельче обычного размера, для того, чтобы сохранить как можно больше воды (вода же испаряется с поверхности листа).

Приспособительные модификации по наследству передаваться не могут, поскольку они не затрагивают генотипа. Но…

Но науке известны примеры наследуемых модификационных изменений, описанные у некоторых бактерий, простейших и многоклеточных эукариот.

Как может наследоваться то, что не записано в генах? Нонсенс! Парадокс! Абсурд!

Никакого абсурда! И нонсенса с парадоксом тоже. Природа вообще не знает таких понятий. Давайте лучше подумаем вот о чем – и в клетках скелетных мышц, и в клетках печени, и в клетках щитовидной железы, и в клетках слизистой оболочки кишечника, короче говоря – во всех клетках данного конкретного организма содержится один и тот же набор ДНК, абсолютно идентичный. Иначе и быть не может, ведь любой многоклеточный организм, столь великолепный в своем разнообразии, развивается

из одной-единственной клетки – яйцеклетки, оплодотворенной сперматозоидом.

Но при этом клетки разных органов и тканей очень сильно, иногда – просто невероятно, отличаются друг от друга.

Один генетический код – и такое разнообразие? Каким образом?

Дело в том, что мало иметь код, надо уметь правильно читать его.

Код – это запись, реестр, состоящий из множества пунктов, множества генов. Если считывать информацию с одних генов, но игнорировать другие, то получатся клетки костной ткани. При ином раскладе – клетки печени. Признаки организма определяются не только его генетическим кодом, но и тем, какие именно гены будут активированы для считывания информации при создании тех или иных клеток.

Раздел генетики, изучающий механизмы изменения активности генов или признаков организма без изменения последовательности ДНК, называется эпигенетикой. У этой науки очень точное название, переводящееся как «на генетике» (греческое «эпи-» указывает пребывание на чем-то, поверх чего-то). Как метко выразился британский биолог Питер Медавар: «Генетика предполагает, а эпигенетика располагает». Природа может «писать» какие угодно коды, но все зависит от того, как именно эти коды будут реализованы.

Одноклеточные организмы, образующие пленку колоний-кластеров, могут «включать» те гены, которые придают их мембранам особую прочность. Другие организмы того же кластера могут «включать» гены, стимулирующие выработку расщепляющих ферментов. Ну и так далее… Если эту способность к включению и выключению определенных генов наложить на бесконечный случайный поток мутаций, то кластер одноклеточных организмов получит неплохие шансы превратиться в многоклеточный организм, ведь к случайным мутациям добавится возможность считывать информацию с нужных генов.

«Но позвольте! – скажут сейчас читатели, сведущие в генетике. – Приобретенные в течение жизни признаки не наследуются, это и ежу известно. Например, шея у жирафа вытянулась не из-за стремления к высоко расположенным листьям, а из-за того, что на протяжении многих поколений больше шансов на выживание и оставление потомства имели особи с более длинной шеей. Они могли питаться листьями, которые были недоступны их собратьям, следовательно, они питались лучше, были крупнее, сильнее, здоровее и оставляли

больше потомства, чем особи с короткой шеей. … Со временем «длинношеесть» закрепилась у жирафов в геноме».

Да, так оно и есть, случайно возникшая «длинношеесть» закрепилась у жирафов в геноме, поскольку оказалась полезным признаком. Однако недавно выяснилось, что молекулы РНК, блокирующие считывание информации с определенных участков молекул ДНК, могут попадать в оплодотворенную яйцеклетку с цитоплазмой и содержимым ядер яйцеклетки и сперматозоида.

Не обязаны попадать, как молекулы ДНК, которые в обязательном порядке передаются дочерним клеткам от материнской, но могут попадать… А, попав в оплодотворенную яйцеклетку, эти молекулы копируются и передаются от клетки к клетке при делении. Вот вам и механизм передачи приспособительных модификаций по наследству.

Одни и те же клетки могут становиться «честными» или «обманщиками» (генеративными) вследствие различного считывания генетической информации, без наследуемого изменения ее! Все определяется ситуацией, внешними факторами, условиями окружающей среды.

Обратите особое внимание на следующее обстоятельство. Способность безъядерной клетки к модификационной изменчивости гораздо ниже аналогичной способности эукариотической (ядерной) клетки. Изоляция наследственного материала в клеточном ядре способствует более лучшей регуляции активности генов, позволяет считывать информацию более направленно. Образно говоря, спрятавшись за ядерной оболочкой от того хаоса, который царит в цитоплазме клетки, гены получают возможность спокойно решить, кто именно будет предоставлять информацию для синтеза белков и создать инструменты, необходимые для правильного считывания информации. Возможно именно по этой причине все многоклеточные организмы относятся к прокариотам.

На организменном уровне организации жизни впервые появились процессы, выражающие ее сущность, такие как обмен веществ и энергии или способность к размножению.

На организменном уровне осуществляется общение между особями как внутри одного вида, так и между видами – одни виды питаются другими и т. д.

Благодаря постоянству своей внутренней среды, организмы создают в биосфере особую среду жизни – биотическую, в которой они выступают в качестве хозяев, обеспечивающих проживание других организмов. Другие организмы могут селиться как внутри организма-хозяина, так и на нем. В организме человека, преимущественно на коже и в толстой кишке, в норме обитает

несколько тысяч видов бактерий. Это наши естественные сожители, микроорганизмы, которые не причиняют нам никакого вреда.

В завершение главы – программный вопрос.

В чем выражается глобальная роль организмов и организменного уровня организации жизни в целом?

Она заключается в поддержании структуры и устойчивости биосферы. Организмы, как непосредственные участники пищевых цепей,[59] обеспечивают биологический круговорот и трансформацию энергии в биогеоценозах.

Интересное происхождение имеет слово «организм». Оно происходит от латинского «организо», означающего «упорядочение», «приведение в стройный вид», а «организо», в свою очередь, происходит от греческого «органон» – «орудие». Организм – это орудие, преобразующее природу, как-то так.

Глава девятая. Популяционно-видовой уровень организации

«Самые прекрасные виды обладают лишь той красотой, которой мы их наделяем», сказал французский писатель Оноре де Бальзак. И правильно сказал, потому что все так и есть. Одними биологическими видами мы традиционно восхищаемся, а другие вызывают у нас отвращение. Пантеру или кошку мы считаем красивыми, грациозными, изящными, а вот крыса какая-то не такая, верно? А ведь если вдуматься и вглядеться, то между кошкой и крысой разницы мало. И та, и другая – хвостатые четвероногие животные, покрытые шерстью, разве что кошка покрупнее, но ведь любят не за размер, а за душевные качества…

Впрочем, давайте оставим лирику в покое и вернемся к нашей драгоценной биологии, науке наук и основе основ. В этой главе речь пойдет о биологических видах и популяциях, на которые подразделяются эти виды по местам своего обитания.

Биологический вид – это основная структурная единица биологической систематики живых организмов. Все живое на планете разбито на виды. Мы с вами относимся к биологическому виду Человек разумный (Homo sapiens) из рода Люди (Homo), который входит в семейство гоминид из отряда приматов класса млекопитающих.

Понятие вида – это фундамент на котором стоит наука биология.

Вид объединяет особей, имеющих общее строение, а также общие физиологические, биохимические и поведенческие признаки, способных к взаимному скрещиванию и дающих плодовитое потомство, распространенных в пределах определенного ареала и сходно изменяющихся под влиянием факторов внешней среды.

То же самое можно сказать иначе: «Вид – это группа особей, обладающих схожими морфологическими, физиологическими, биохимическими, генетическими, географическими и экологическими критериями».

Давайте разберемся с критериями вида при помощи которых один вид отличают от другого.

Морфология – это наука о форме и строении организмов. Морфологический критерий определяет внешние признаки особей, входящих в состав определенного вида.

Морфологический критерий – самый удобный из критериев. Систематика начинается с морфологии. Но одного лишь

морфологического сходства недостаточно для объединения организмов в один вид.

В природе существуют так называемые виды-двойники, не имеющих заметных внешних различий, но не скрещивающиеся из-за наличия разных хромосомных наборов. Так, под названием «крыса черная» различают два вида-двойника, один из которых имеет 38 хромосом (это хорошо известный, широко распространенный вид), а другой, обитающий в Юго-восточной Азии, имеет 42 хромосомы.

Бывает и иначе – внутри одного вида могут наблюдаться существенные морфологические различия. Так, например, гадюка обыкновенная может иметь различную окраску, начиная с темно-серой и заканчивая золотисто-желтой. А как отличаются друг от друга собаки разных пород! Но при этом все собаки составляют даже не биологический вид, а только подвид (группу в пределах вида) вида Волки. Да, представьте себе, и йоркширский терьер, и колли, и сенбернар относятся к одному подвиду.

Следом за морфологическим идет физиологический критерий, определяющий сходство жизненных процессов, первым среди которых является возможность скрещивания между особями с образованием плодовитого потомства. Ключевое слово – плодовитого. Выше было сказано о том, что в ряде случаев особи разных видов (например – лошади и ослы) могут давать потомство, но это потомство плодовитым не будет.

Впрочем, из этого правила есть некоторое количество исключений в животном мире и довольно много – в растительном.

При скрещивании между некоторыми видами животных, преимущественно птиц могут образовываться плодовитые гибриды, например – гибриды желтой канарейки с венесуэльским чижом или с обычным чижом. В растительном мире примером плодовитого гибрида может служить гибрид тополя и осины названный тополем Яблокова в честь советского селекционера Александра Яблокова. Это стройное дерево с пирамидальной кроной и листьями, похожими на листья осины.

Тополь Яблокова

Но, как шутят ученые, исключения не опровергают правила, а

подтверждают его. Говоря о возможности скрещивания между особями одного вида с образованием потомства, не забывайте про слово «плодовитого».

Бывает ли в природе так, что особи одного вида не могут скрещиваться?

Этот коварный вопрос любят задавать экзаменаторы. Услышав в ответ твердое и решительное «нет!», они хмурят брови и советуют хорошенько подумать…

А ведь если хорошенько подумать, то можно представить такую ситуацию, в которой скрещивания между особями одного и того же вида происходить не может. У любого растения период цветения зависит не от календаря, а от условий окружающей среды. На открытых местах, где много солнечного света, растения зацветают раньше, чем те, которые растут в тени. Разные сроки цветения – это разные сроки готовности к опылению, к скрещиванию. Между двумя близкорасположенными популяциями одуванчика – луговой и лесной, скрещивания не будет, несмотря на принадлежность к одному и тому же виду.

Можно привести иной пример – невозможность полового акта между самцом породы ньюфаундленд и самкой чихуахуа, вызванную значительной разницей в их размерах. С биологической точки зрения сперматозоиды ньюфаундленда могут оплодотворить яйцеклетку чихуахуа, но морфологическая разница препятствует скрещиванию этих пород в естественных условиях.

Самым ненадежным из критериев является биохимический. Удивительно, не так ли? Казалось бы, что критерий, определяющий состав и структуру веществ, из которых состоит организм, должен быть самым надежным. Но это только кажется, а на самом деле внутри видов существует довольно выраженная биохимическая изменчивость. Наряду с такой внутривидовой изменчивостью наблюдается много «биохимического» сходства между особями разных видов, например – сходство механизма синтеза белков и нуклеиновых кислот или же использование АТФ в качестве источника энергии.

А какой критерий считать самым надежным?

Конечно же – генетический! Каждому виду свойственен определенный набор хромосом, имеющих определенное строение. Генетический критерий также считается самой важной особенностью биологического вида, поскольку он определяет репродуктивную изоляцию – полноценное скрещивание возможно только в пределах вида (об исключениях можно не вспоминать).

Но и этот критерий не является абсолютным. Число, форма и размеры хромосом у особей одного вида могут различаться. Это

происходит в результате мутаций или сбоев при делении половых клеток. Обратите внимание на то, что особь с лишней или недостающей хромосомой не выделяется в какой-то отдельный, новый вид. С другой стороны, представители разных видов число хромосом могут иметь одинаковое число схожих по строению хромосом (примером могут служить виды растений из семейства бобовых).

Если биохимический критерий самый ненадежный, то географический является наиболее расплывчатым. Суть этого критерия заключается в том, что каждый биологический вид занимает определенную территорию или акваторию. Говоря научным языком, каждый вид характеризуется определенным географическим ареалом.

Так оно и есть, но…

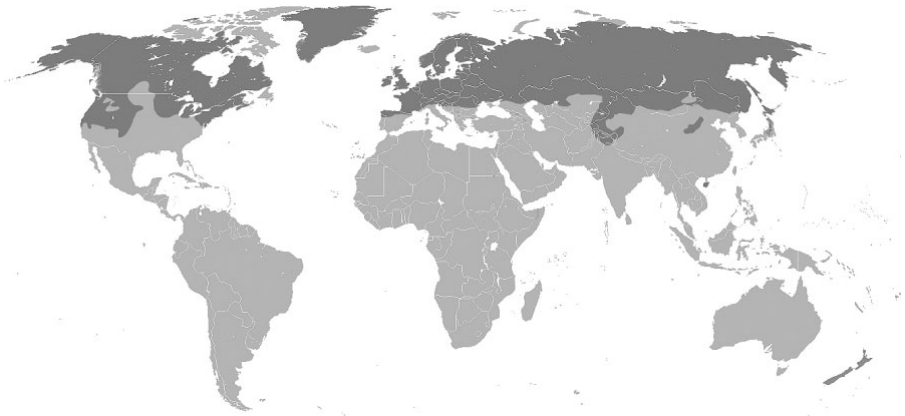
…огромное число видов имеет совпадающие, накладывающиеся друг на друга, или перекрывающиеся ареалы.

…существуют так называемые «виды-космополиты», обитающие на огромных пространствах (например – одуванчик лекарственный, пастушья сумка, комнатная муха, рыжий таракан, серая и черная крысы, ласка).

…существуют виды, не имеющие четких границ распространения (например – бактерии или некоторые виды лишайников).

…существуют виды, не имеющие собственного ареала, поскольку они обитают рядом с человеком (комнатная муха, рыжий таракан, домовая мышь, постельный клоп и др.).

Ареал обитания черной крысы



Ареал обитания ласки

А еще некоторые виды могут иметь «разорванный» ареал, части которого удалены друг от друга на значительное расстояние. Так, например, голубая сорока обитает в Западной Европе на Пиренейском полуострове и в Восточной Азии. А липа сердцевидная, она же – липа мелколистная, растет в Европе и Западной Сибири.

И, помимо всего сказанного, ареал вида может изменяется – расширяться или уменьшаться. Так что географический критерий носит сугубо информационный характер, не более того. Определяющим критерием его считать нельзя.

И точно так же нельзя считать определяющим экологический критерий, суть которого заключается в том, что каждый вид занимает определенную экологическую нишу, то есть способен существовать только в определенных условиях. Но при этом представители одного вида могут приспосабливаться к разным условиям и занимать совершенно разные ниши. Примером может служить сосна обыкновенная, которая растет и на болотах, и на песчаных дюнах.

Кроме того, в природе существуют виды, не имеющие строгой экологической привязанности. Это человек, а также виды, жизнедеятельность которых связана с человеком (комнатные мухи и пр.), и виды, которые находятся под опекой человека – комнатные и культурные растения, домашние и сельскохозяйственные животные.

Животным организмам также присущ поведенческий или, если выражаться по-научному – этологический критерий. Представители разных видов ведут себя по-разному. Возьмем, хотя бы птиц, которых легко можно различать по характеру издаваемых ими звуков.

Говоря о видовых критериях, нужно понимать, что ни один из

критериев в отдельности не может служить для определения вида. Критерии применяются только в совокупности!

А теперь давайте познакомимся с биологическим видом, особенности которого могут взорвать мозг и перевернуть… нет – разбить вдребезги все представление о видовых критериях.

Решайте сами – дочитывать ли вам эту главу до конца или лучше сразу перейти к следующей.

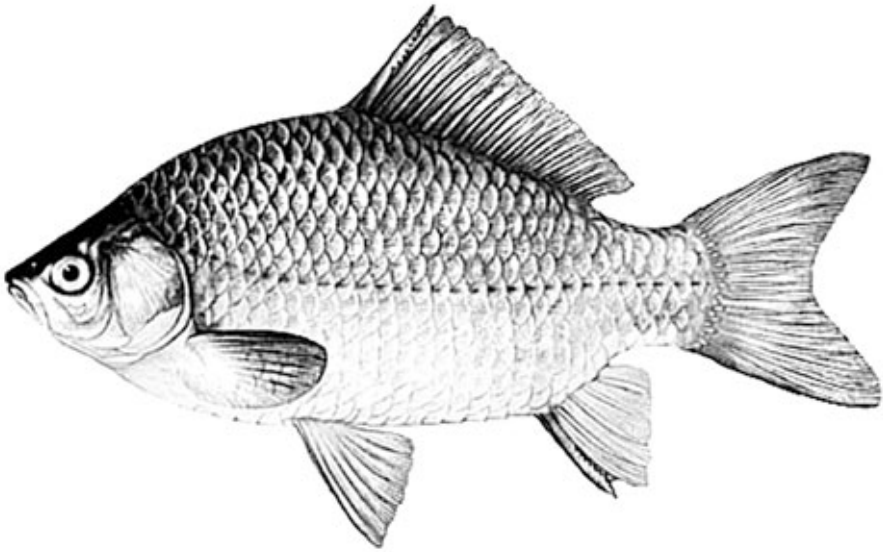
Помните, что вы предупреждены о грозящей вам опасности взрыва мозга и утраты представление о видовых критериях. Решение принимаете вы и только вы несете ответственность за последствия своих действий.

Для начала вот вам цитата из широко известного классического труда Леонида Сабанеева «Рыбы России. Жизнь и ловля (уженье) наших пресноводных рыб».

«Наружность карася очень хорошо всем известна, и потому нет надобности описывать ее во всех подробностях. Карась легко отличается от всех других наших пресноводных рыб своим более или менее круглым туловищем, сильно сплющенным с боков, хотя он все-таки значительно толще леща. Слово «карась», как известно, придается иногда в нарицательном смысле – и толстого, неуклюжего человека как раз назовут этим прозвищем. Своим высоким, сжатым телом и отсутствием усов карась легко отличается от ближайшего своего родственника – карпа…».

«Карась – и взрыв мозга? – удивилось сейчас большинство читателей, ожидавших рассказа про какого-нибудь яванского носорога или, скажем, китайского пресноводного дельфина (да, представьте – есть такой вид). – Ну что такого особенного может быть в карасе? Это же самая обычная рыба!».

А знаете ли вы, что у серебряного карася при нормальном числе хромосом равном 100, встречаются популяции со 150 хромосомами?



Серебряный карась

Обратите внимание – речь идет не о отдельных ошибках природы, а о целых популяциях полностью жизнеспособных особей. в пределах одного и того же вида могут встречаться особи с разным числом хромосом, образовавшимся вследствие геномных[60] мутаций.

Число одинаковых наборов хромосом, находящихся в ядре клетки, называют плоидностью. Различают гаплоидные клетки, содержащие одинарный набор непарных хромосом (к ним относятся половые клетки), диплоидные, у которых есть парный набор хромосом (это обычные или соматические клетки), а также полиплоидные, у которых гаплоидный набор повторяется несколько раз. Полиплоидией называется кратное увеличение количества хромосом в клетке. Обратите внимание на слово «кратное». + 1 хромосома – это не полиплодия, а анеуплодия (так называются изменения количества отдельных хромосом).

Полиплоидия довольно часто встречается среди растений[61] (например – у представителей рода тополей), и гораздо реже – среди животных. У человека, как и у подавляющего большинства многоклеточных животных, бóльшая часть клеток диплоидна, а гаплоидными являются только зрелые половые клетки. Нарушения плоидности, как анеуплоидия, так и более редкая полиплоидия, приводят к болезням или вообще прерывают внутриутробное развитие. Примером анеуплоидии у человека может служит синдром Дауна, при котором 21-ая хромосома представлена тремя копиями вместо двух.

В «нормальном» диплоидном наборе серебряного карася

содержится 100 хромосом. Особи с диплоидным набором размножаются обычным для рыб способом – самки выметывают икринки (яйцеклетки) в воду, а самцы обливают их семенной жидкостью, которая содержит сперматозоидами. Диплоидные серебряные караси могут быть как самцами, так и самками, а вот триплоидные[62] особи, имеющие в ядрах соматических клеток по 150 хромосом, всегда бывают самками, полноценными, здоровыми, способными к размножению.

Напрашивается вопрос – как размножаются серебряные караси в триплоидных популяциях, где нет самцов?

Логика подсказывает, что популяции, состоящие из одних лишь самок, обречены на вымирание. Но серебряные караси с этим категорически не согласны. Вот не согласны и все тут! Если вы сейчас подумали о бесполом размножении, то к нему серебряные караси тоже не способны.

Хороша задачка, верно? К бесполому размножению серебряные караси не способны, а самцов в триплоидных популяциях нет. Но при этом караси как-то ухитряются размножаться.

Как им это удается?

«Это же элементарно, Ватсон! – сказал бы сейчас великий сыщик Шерлок Холмс. – Если у карасей нет своих самцов, в размножении будут участвовать самцы других видов!».

Знания у Шерлока Холмса были своеобразные. В том, что могло помочь в работе, он разбирался превосходно, а всем прочим предпочитал свой мог не загружать. Но в отношении карасей он был бы совершенно прав. Да, действительно, в триплоидных популяциях серебряного карася икру, которую выметывают самки, оплодотворяют самцы других близких видов рыб – сазана, плотвы, линя, леща, карпа, вьюна, карася обыкновенного…[63]

Но при этом (держитесь за стул или диван крепче!) будущее потомство наследует только гены серебряного карася. От отцов потомству ничего не передается.

Пожалуй, этот факт не смог бы объяснить и Шерлок Холмс, поскольку логика тут бессильна. И вообще может показаться, что автору надоело вести серьезные разговоры и он решил оторваться на всю катушку – написать какую-то прикольную бредятину. Оплодотворение икринок самцами других видов – это чушь, а то, что при этом потомству не передаются признаки отцов – чушь в квадрате.

Но на самом деле разговор у нас с вами идет серьезный. Все так и есть – икру серебряного карася могут оплодотворять «чужие» самцы, но из этой икры рождаются не гибридные

карпокараси или карасесазаны, а самые обыкновенные триплоидные серебряные караси-самки. После проникновения сперматозоида чужого вида в яйцеклетку серебряного карася не происходит слияния отцовского и материнского ядер – начало новой жизни дает одно лишь материнское ядро, ядро яйцеклетки! Сперматозоид нужен яйцеклетке только для того, чтобы запустить ее деление, в чужом генетическом материале она не нуждается.

Но это еще не все карасиные чудеса. Триплоидные серебряные караси при определенных условиях могут трансформироваться в диплоидных, а вот обратное превращение маловероятно или вообще невозможно. Это удалось установить посредством изучения ДНК, содержащейся в митохондриях диплоидных и триплоидных карасей.

А еще в потомстве триплоидных серебряных карасей могут появляться тетраплоидные особи с 200-ми хромосомами, такие же жизнеспособные, как и «двуплоиды» с «триплоидами». Это вообще уже ни в какие рамки не укладывается! Если вспомнить, что говорилось выше об «обслуживании» хромосом (пример с домом, в котором живут сорок шесть семей), то совершенно непонятно – как можно жить с таким вот набором, вдвое превышающим нормальное количество. Но караси как-то справляются. Никто никогда не слышал от них жалоб по этому поводу.

С карасями мы на этом закончим и начнем плавно переходить к следующей главе.

Биологический вид называют основным этапом эволюции. Эволюция приводит к появлению новых видов. Виды изменяются в процессе эволюции. Концепция естественного отбора, основного механизма эволюции, изложена в книге Дарвинапод названием «Происхождение видов путем естественного отбора, или Сохранение благоприятствуемых пород в борьбе за жизнь». Всюду виды. Биологический вид является основной структурной (или – элементарной) единицей биологической систематики живых организмов. Но в определении эволюции почему-то упоминаются не виды, а популяции: «Биологической эволюцией или просто эволюцией[64] называется естественный процесс развития живой природы, сопровождающийся изменением генетического состава ПОПУЛЯЦИЙ, формированием приспособления организмов к внешним условиям, видообразованием и вымиранием видов, преобразованием экосистем и биосферы в целом».

Дело в том, что у различных процессов разные структурные единицы. Биологическая систематика оперирует видами, а эволюция – популяциями. Очень важно правильно определять структурные единицы, ведь именно с них все и начинается.

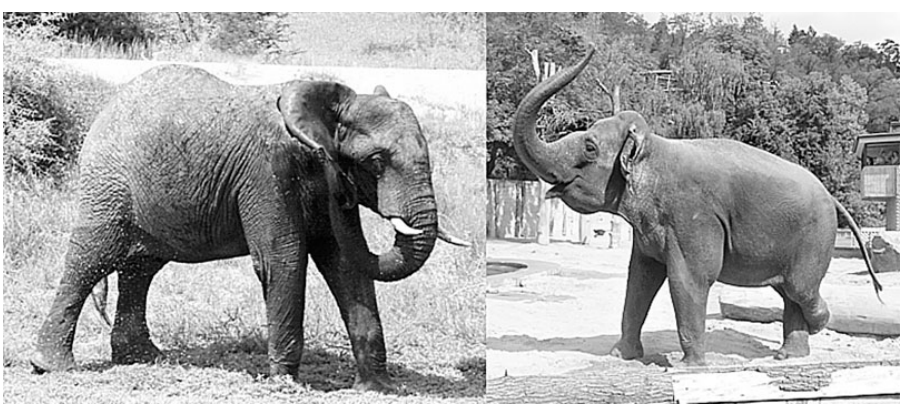
Отдельно взятый организм не может являться структурной

единицей эволюции, поскольку эволюционное развитие представляет собой изменение генотипов. Генотип же каждого конкретного организма на протяжении всей его жизни остается неизменным. Поэтому надо брать другую структурную единицу, такую, в которой будут изменяться генотипы, будет наблюдаться эволюционное развитие.

Биологический вид тоже не может быть принят за единицу эволюции, поскольку в большинстве случаев виды разделены на изолированные составные части – популяции, и эволюционные процессы в этих самых популяциях могут протекать по-разному, в разных направлениях, вплоть до образования других видов и родов.

Обратите особое внимание на слово «изолированные». Каждая популяция изолирована от других популяций. Особи из разных популяций не имеют возможности скрещиваться друг с другом, поэтому внутри каждой популяции формируются свои, индивидуальные, присущие только ей одной, изменения генофонда. Поэтому на почетное звание структурной эволюционной единицы может претендовать только популяция.

Роды, виды и подвиды, произошедшие от разных популяций одного и того же вида, могут иметь множество отличий. Сравните представителей двух родов,[65] произошедших от разных популяций одного и того же предка – африканского слона и индийского слона.



Африканский слон		Индийский слон
4 метра в высоту	**Размер**	до 3 метров
7 тонн	**Вес**	5 тонн
Округлые	**Форма ушей**	Заостренные
До 3 метров	**Бивни**	Только у самцов и не всегда
Много морщин	**Покров кожи**	Волосяной покров
Конец хобота имеет 2 пальцевидных отростка	**Строение хобота**	Только один верхний «палец»
На передних конечностях копыт 5, реже 4, на задних — 3	**Отпечаток следа**	На передних конечностях 5 копыт, на задних — 4

Оцените разницу.

Сделайте выводы.

Популяция обладает общим генетическим фондом. Это раз.

Особи, составляющие одну популяцию, могут свободно скрещиваться между собой, поскольку внутри популяции отсутствуют изоляционные барьеры. Это два.

Популяция представляет собой непрерывный ряд поколений, она характеризуется как наследственностью, так и изменчивостью. Это три.

И при всем том, популяция является самой мелкой из групп, способных к эволюционному развитию. Поэтому именно популяция считается структурной единицей эволюции.

Продолжение разговора о причудах и тайнах эволюции – в следующей главе.

Глава десятая. Эволюция, как она есть

Возникновение жизни – это самая древняя научная проблема. Как только люди научились думать, они сразу же задумались о том, откуда все произошло.

Логика (а больше никаких инструментов у древних ученых не было) предлагала два объяснения. Согласно первому жизнь появилась сама по себе, а второе утверждало, что все живое и вообще все сущее создано высшей волей.

Иной раз можно ткнуть пальцем наугад и попасть в нужную кнопку на пульте. Древнегреческий философ и математик Фалес Милетский, считающийся основоположником философии и всей науки в целом, совершенно правильно предположил, что жизнь зародилась в воде. Но другие древние ученые с этим не согласились. Так, например, Анаксагор из Клазомен утверждал, что жизнь зародилась из воздуха, точнее – из некоего мирового эфира, а Демокрит Абдерский считал, что живое появляется из разных источников, например, мухи заводятся в гнилом мясе, а черви – в иле. Кстати говоря, по его версии люди тоже произошли из ила.

В IV веке до нашей эры великий[66] античный философ Аристотель обобщил множество существовавших на то время версий и сформировал целостную теорию самозарождения жизни. Согласно Аристотелю, зарождение живых существ вызвано воздействием некоего духовного начала на безжизненную материю. В трудах Аристотеля можно найти множество примеров самозарождения разных живых существ в разных средах – от испорченного мяса до навоза. Теория Аристотеля была абсолютно логичной. Если не знать о яйцах, которые откладывают в мясо мухи, то волей-неволей поверишь в самозарождение личинок, которые вдруг появляются на протухшем куске мяса.

Теорией самозарождения жизни вклад Аристотеля в развитие биологии не ограничивается.

Он заложил основу эволюционного учения, создав теорию непрерывного и постепенного развития всего живого. Аристотель первым высказал мысль о том, что природа – это непрерывный ряд усложняющихся форм: от неживых тел к растениям, от растений к животным и так далее до человека.

Аристотель создал первую в истории классификацию животного мира. Всех животных он разделил на две большие группы: животные с кровью и бескровные. Животных с кровью

Аристотель, в свою очередь, разделил на три вида яйцеродных (яйцекладущих) – рыбы, птицы, рептилии – и живородящих.

Классификация животного мира по Аристотелю

А еще Аристотель стал основоположником эмбриологии, науки о зародышевом развитии организмов. В труде «Возникновение животных» он описал развитие куриного эмбриона и высказал предположение относительно того, что зародыши живородящих животных тоже происходят из яйца, но особого, не имеющего твердой оболочки.

После Аристотеля в биологии долгое время ничего не происходило. С IV века до нашей по XVIII век, то есть – более двух тысяч лет, не было ни великих открытий, ни научных теорий, ни каких-то значительных достижений. А что вообще могло произойти, если у биологии не было фундамента – научной биологической систематики? Прежде, чем что-то изучать, это «что-то» надо как-то упорядочить, систематизировать, разложить по условным полочкам. Иначе вместо научных теорий будет хаос.

Основные принципы систематики, науки о классификации живых организмов, разработал шведский естествоиспытатель Карл Линней, которого по праву считают отцом биологии. В 1735 году двадцативосьмилетний Линней опубликовал трактат «Система природы», в котором расположил по классам, отрядам, родам и видам представителей трех царств природы – минерального, растительного и животного.

В основу своей классификации Линней положил принцип иерархичности (соподчинённости) структур, которые он назвал «таксонами». Таксоны Линнея соответствовали современному понятию видов.[67]

Биологическая систематика

Несколько мелких таксонов у Линнея объединялись в более крупный род, роды – в отряды и т. д. Самой крупной единицей в системе Линнея был класс. С развитием биологии в систему таксонов добавились дополнительные категории, такие, например, как семейство и подкласс, но в целом принципы систематики, заложенные Линнеем, остались неизменными до нашего времени.

В научных взглядах Линнея была одна «прореха» – он считал, что виды существуют в природе в неизменном качестве. «Видов столько, сколько их вышло из рук Творца» было сказано в первом издании «Системы природы». Однако со временем взгляды Линнея изменились и в десятом издании «Системы природы», вышедшем в 1758 году, этой фразы уже не было. Эволюционистом Линней не стал, но он начал признавать, что в результате скрещивания могли возникать новые виды в дополнение к тем, которые были созданы Богом.

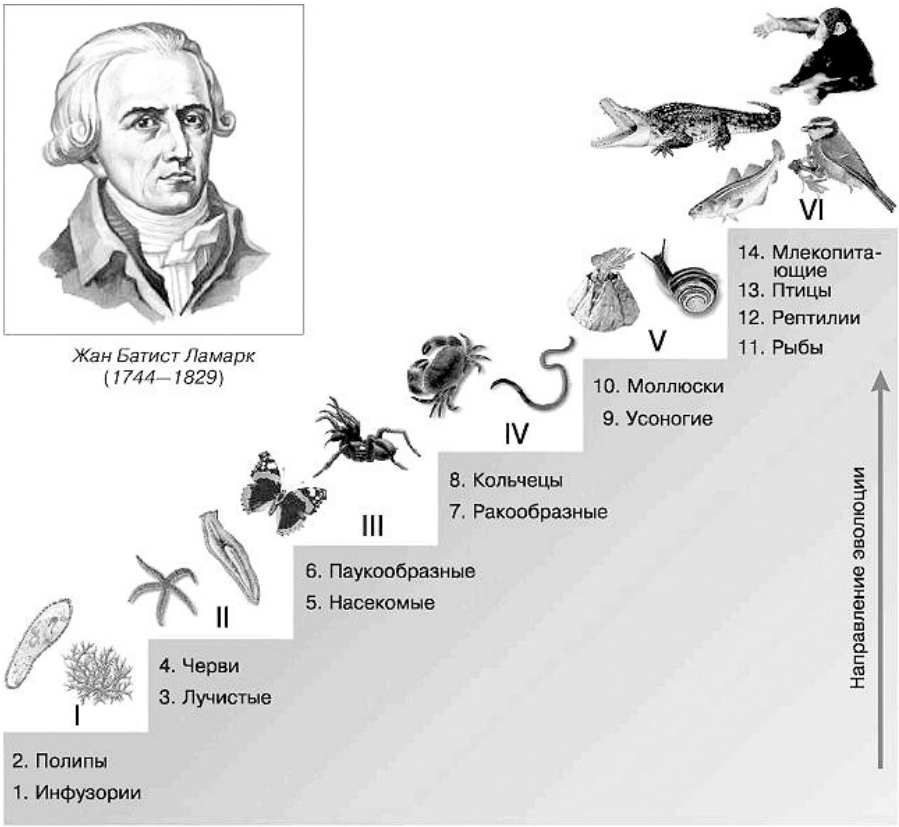
Линей признавал существование видов и отрицал историческое развитие в природе, а французский естествоиспытатель Жан-Батист Ламарк придерживался совершенно противоположных взглядов – развитие в природе Ламарк признавал, а существование видов отрицал, говоря, что они есть всего лишь плод воображения некоторых ученых. Согласно Ламарку, в природе существовали не виды, как таковые, а только отдельные особи. Природа находится в постоянном развитии и потому нельзя выделять группы особей, обладающих

схожими признаками, и рассматривать их как виды. «Только тот, кто долго и усиленно занимался определением видов и обращался к богатым коллекциям, – писал Ламарк, – может знать, до какой степени виды сливаются одни с другими. Я спрашиваю, какой опытный зоолог или ботаник не убежден в основательности только что сказанного мною? Поднимитесь до рыб, рептилий, птиц, даже до млекопитающих, и вы увидите повсюду постепенные переходы между соседними видами и даже родами». Эволюция в представлении Ламарка носила плавный постоянный характер – природа не делает скачков.

Эволюционная концепция, изложенная Ламарком в трактате «Философия зоологии» (1809) получила название ламаркизма. Ламарк стал первым ученым, попытавшимся создать стройную и целостную теорию эволюции[68] живого мира и ему почти удалось это сделать. «Почти», потому что вместе с грязной водой (утверждением о неизменности живой природы) Ламарк выплеснул из ванночки и ребенка (существование видов).

Линней дал биологии фундамент – свою замечательную классификацию, но при этом опутал ее цепями «неизменности живого». Ламарк сорвал эти цепи, но заодно разрушил прочный фундамент, созданный Линнеем, и предложил вместо него свой, хлипкий и ненадежный. Всех животных Ламарк распределил по шести уровням, которые сам он называл «градациями», соответственно сложности их организации. На самом верхнем уровне находились млекопитающие во главе с человеком, а на самом нижнем – инфузории.

Всему живому, по мнению Ламарка, присуще стремление развиваться от простого к сложному, подниматься вверх по «ступеням» его лестницы. Изменения в живом мире постоянны, они происходят каждое мгновение, признаки постоянно меняются, границы между различными животными размыты, поэтому невозможно объединять животных в какие-то группы.



«Лестница» Ламарка

Ламарк совершенно правильно определил причину изменений, происходящих в живой природе. По его мнению, к развитию организмы побуждало изменение среды обитания. Ламарк писал: «Породы изменяются в своих частях по мере того, как наступают значительные перемены во влияющих на них обстоятельствах. Весьма многие факты убеждают нас, что по мере того, как особям одного из наших видов приходится менять местоположение, климат, образ жизни или привычки, они подвергаются влияниям, изменяющим мало-помалу состояние и соотношение их частей, их форму, их способности, даже их организацию…». Однако, говорить об эволюции, отрицая существование видов, это все равно что пытаться писать химические формулы, отрицая существование молекул. Ничего путного из этого не выйдет, то есть не получится создать цельной теории. Отрицание существования видов делает невозможным их изучение, «распыляет» внимание натуралистов на исследование отдельных особей и не дает возможности делать обобщения.

Если Ламарка спрашивали, почему никто не замечает постоянного превращения одних видов в другие, он давал такой

ответ: «Допустим, что человеческая жизнь длится не более одной секунды в сравнении с жизнью вселенной, в этом случае ни один человек, занявшийся созерцанием часовой стрелки, не увидит, как она выходит из своего положения». На это оппонентам просто нечего было возразить. Увы, в научных дискуссиях нередко побеждает не тот, кто прав, а тот, у кого лучше подвешен язык.

Была у Ламарка и другая серьезная ошибка – он считал возможным наследование приобретенных признаков. В течение жизни одни органы используются чаще и интенсивнее, а другие – реже и слабее. Органы, которые все время «тренируются», должны расти и развиваться, а те, что используются редко, должны уменьшаться. Изменения, возникающие вследствие подобных избирательных тренировок, передаются потомкам по наследству.

Возьмем тех же жирафов. Когда-то давно их предки имели короткие шеи, но старательно вытягивали их, чтобы добраться до высоко расположенных листьев и плодов. В результате тренировок шеи в каждом новом поколении становились все длиннее.

Примером обратного развития органа может служить курица. Когда-то предки кур умели летать, но после перехода к наземному образу крылья перестали использоваться и в каждом поколении становились все меньше.

И ведь так все оно и было на самом деле! У далеких предков жирафов были короткие шеи, а прапракурицы умели летать. Только вот в основе происходящих изменений лежит не передача по наследству нажитого в течение жизни «добра», а отбраковка тех, кто плохо приспособлен к жизненным условиям.[69]

Надо сказать, что возможность передачи приобретенных полезных признаков по наследству – это великое преимущество, обеспечивающее быстрое развитие. Но, к сожалению, у нас такого механизма нет (и у всего живого на нашей планете тоже). Приходится играть по правилам, навязанным нам безжалостной природой и открытыми гениальным Чарльзом Дарвиным.

Все знают, что Дарвин открыл эволюцию (правда, некоторые считают, что он ее придумал). Но многие ли могут назвать его фундаментальные труды?

Трудов этих два – «Происхождение видов путем естественного отбора, или Сохранение благоприятных рас в борьбе за жизнь» (1859) и «Изменения домашних животных и культурных растений» (1868).

Дарвин сотворил невозможное. Он сумел скрестить условного ежа с условным ужом – соединил воедино все правильное, что было у Ламарка и Линнея, добавив к полученному многое от себя. Согласно дарвиновской теории эволюции, сформулированной в

1859 году, биологические виды:

реально существуют.

относительно постоянны.

являются результатом исторического развития.

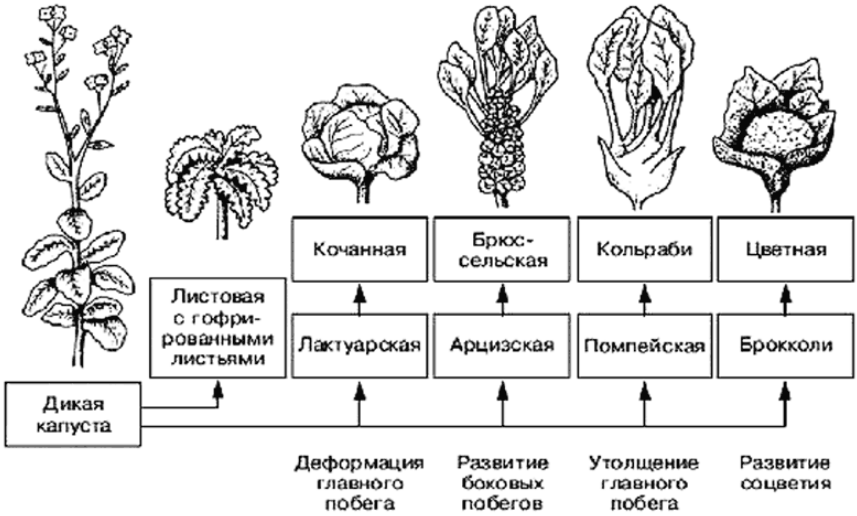
Мир живой природы пребывает в постоянном изменении, которое приводит к появлению различных видов. Виды изменчивы, их нельзя рассматривать как нечто данное раз и навсегда, но при этом на протяжении какого-то периода виды можно считать постоянными, неизменяемыми.

Главная заслуга Дарвина состоит в том, что ему удалось правильно определить движущие силы эволюционного процесса, вскрыть его сущность и выстроить убедительную систему доказательств эволюции. Доказательства очень важны, ведь без них любая теория является не научной концепцией, а всего лишь предположением, гипотезой.

Дарвин установил, что всем живым существам присущи такие общие свойства как наследственность – способность сохранять в потомстве свои видовые и индивидуальные особенности, и изменчивость – способность приобретать новые признаки под влиянием условий окружающей среды. Изменчивость Дарвин разделял на наследственную и ненаследственную формы. О генах и хромосомах в то время понятия не имели, так что разговор о наследственности велся беспредметно или, если точнее – на основе наблюдений. Ни у кого не вызывало сомнений, что дети похожи на своих родителей.

Изменчивость дает возможность получения новых признаков, а наследственность обеспечивает передачу признаков потомству, но что управляет процессом развития?

Управления у эволюции нет, есть только движущая сила – естественный отбор. Обладатели полезных признаков выживают и оставляют много потомства с теми же полезными признаками. Потомки с полезными признаками тоже оставляют больше потомства… Таким образом полезные признаки закрепляются в популяции. Если же отбор осуществляется человеком (при выведении новых сортов культурных растений или пород домашних животных), то он называется искусственным. Суть естественного и искусственного отбора одна – закрепление полезных признаков. Разница между ними заключается в том, что природный естественный отбор носит стихийный характер, а искусственный отбор является следствием целенаправленной и осознанной деятельности человека.



Искусственный отбор: результаты селекции капусты

Выводя новые сорта растений или породы животных, человек сознательно отбирает особей с нужными для него свойствами, осуществляет скрещивание, получает потомство и снова производит отбор по данным признакам. Улучшение сорта растений или породы животных и выведение новых сортов и пород путем искусственного отбора называется селекцией. Проиллюстрировать селекцию нагляднее всего на примере собак. Как уже было сказано выше, все собаки принадлежат к одному подвиду вида волк (из рода волки семейства псовых). На сегодняшний день известно более 400 пород собак – оцените, какого разнообразия пород внутри одного подвида добились селекционеры!

Кстати говоря, породы собак не являются научно определяемой биологической классификацией. Ученые-биологи никогда не оперируют термином «порода», поскольку в биологии такого понятия не существует. Породы – это сугубо зоотехническая[70] единица классификации животных.

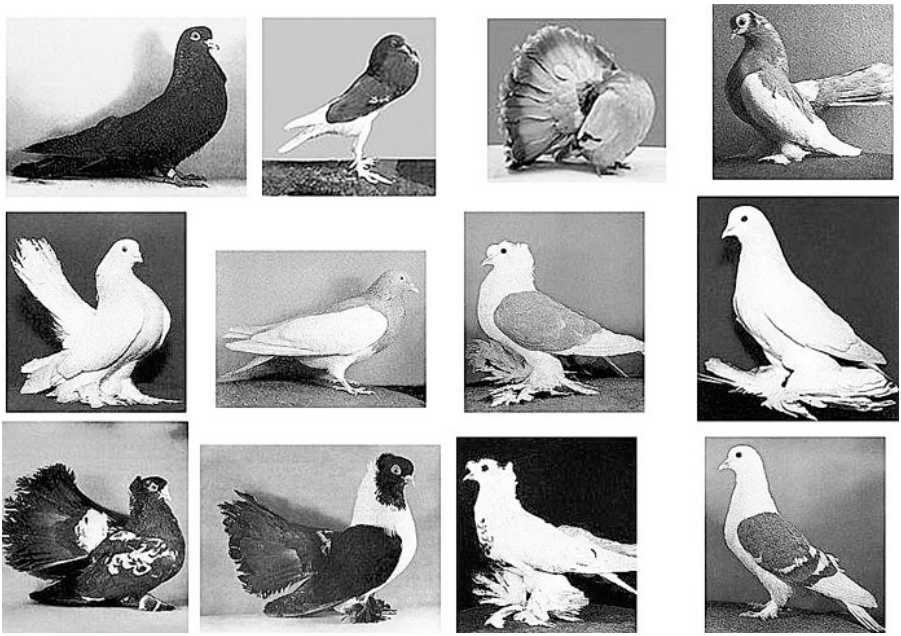
И еще о породах. Чарльз Дарвин проявлял особый интерес к вопросу о происхождении голубей. В двухтомном трактате «Изменение животных и растений в домашнем состоянии» голубям посвящено две главы.

Дарвин доказал, что все существующие породы голубей произошли от одного дикого предка – скалистого или горного голубя. Вообще-то домашние породы голубей настолько различаются между собой, что любой орнитолог, обнаружив их в дикой природе, счел бы, что имеет дело с самостоятельными

видами. Однако Дарвин, на основании ряда фактов, установил общее происхождение всех пород домашних голубей и принадлежность их к одному виду.

Скалистый голубь

Во-первых, ни один из видов диких голубей, кроме скалистого, не имеет общих признаков с голубями домашних пород.



Породы домашних голубей

Во-вторых, многие поведенческие черты голубей домашних пород сходны с поведением дикого скалистого голубя. Например, домашние голуби точно так же, как и их скалистый родственник, не вьют гнезд на деревьях и демонстрируют схожее поведение во время ухаживания за самками.[71]

В-третьих, скрещивание любых пород домашних голубей дает плодовитое потомство, а иногда при этом появляются гибриды с признаками дикого скалистого голубя.

С голубями – все. Давайте вернемся к естественному отбору. Естественный отбор неразрывно связан с борьбой за существование. В борьбе за существование сохраняются и оставляют потомство наиболее приспособленные особи, а менее приспособленные погибают, оставляя мало потомства или же вообще не оставив его. Дарвин выделял три формы борьбы за существование: внутривидовую, заключавшуюся в конкуренции между особями одного вида, межвидовую, при которой конкурировали особи разных видов, и борьбу организмов с неживой природой, с неблагоприятными условиями окружающей среды.

Внутривидовая борьба – это наиболее острая форма борьбы за существование…

Почему наиболее острая?

Да потому что у всех особей одного вида есть одна-единственная экологическая ниша, в которой мало свободных

мест (а то и вовсе нет). В процессе внутривидовой борьбы организмам приходится конкурировать за ограниченные ресурсы, а также за возможность оплодотворения самки… Для смягчения внутривидовой борьбы вырабатываются различные приспособления, начиная с установления иерархических отношений и заканчивая разграничением участков обитания.

Межвидовая борьба может протекать так же остро, как и внутривидовая, если у видов выраженно перекрываются экологические ниши. Примером могут служить волки и лисицы, относящиеся к одному и тому же семейству псовых, обитающие в одних и тех же ареалах, и в большинстве своем питающиеся одними и теми же животными. Однако межвидовая борьба за существование включает в себя не только отношения между конкурентами, но и отношения типа «хищник – жертва», «паразит – хозяин», «травоядное животное – растение».

В рамках борьбы за существование виды могут не только противостоять друг другу, но и оказывать взаимную поддержку. Известны ли вам такие понятия, как мутуализм и комменсализм?

Мутуализмом называется форма взаимополезного (именно взаимополезного!) сожительства, когда наличие партнера становится обязательным условием существования каждой из сторон. Так, например, в пищеварительном тракте коров и других жвачных животных обитают микроорганизмы, способные переваривать целлюлозу. Организм коров на это не способен, целлюлозу разрушают микробы. Жвачные животные не могут жить без этих микробов, потому что тогда они не смогут полноценно питаться, а микробы не могут жить вне организма своих хозяев. Коровы и целлюлозоразрушающие микробы навеки связаны одной цепью и от этой связи обоим видам нет ничего, кроме пользы.

Давайте разберемся с взаимодействиями представителей разных видов между собой.

Взаимная польза – это мутуализм. Ты – мне, я – тебе.

Односторонняя польза без причинения вреда другой стороне – это комменсализм. Примером комменсализма могут служить рыбы-прилипалы, которые прикрепляются к крупным морским животным и совершают вместе с ними длительные миграции, не нанося никакого вреда своим хозяевам. Ты мне приносишь пользу, а я тебе не делаю плохого.

Если же один вид в течение определенного времени использует другой вид в качестве источника питания и среды обитания, то такие отношения называются паразитизмом. Паразит всегда наносит вред своему хозяину поскольку крадет у него часть питательных ресурсов. А еще паразит может отравлять

организм хозяина продуктами своей жизнедеятельности.

Аменсализмом называются межвидовые отношения, вредные представителю одного вида, но безразличные представителю другого вида. Аменсализм можно назвать «бескорыстным паразитизмом». Примером могут служить отношения деревьев с травами и мхами, растущими под сенью их крон. Кроны деревьев заслоняют находящиеся под ними растения от солнечного света. Вред налицо, но никакой пользы от нанесения этого вреда деревья не получают. Им, деревьям, безразлично, что растет внизу и вообще растет ли там хоть что-нибудь.

А в целом, взаимоотношения между организмами разных видов, при которых хотя бы один из них получает для себя пользу, называются симбиозом, что в переводе с греческого означает «совместная жизнь».

Борьба с неблагоприятными условиями окружающей среды усиливает внутривидовую борьбу поскольку к борьбе между особями одного вида добавляется конкуренция за факторы неживой природы – за солнечный свет, минеральные вещества и т. п. В конечном итоге все виды борьбы, существующие в природе, сводятся к конкуренции между представителями одного и того же вида.

Природа запаслива – в ее системах обычно рождается больше организмов, чем может существовать. Многие организмы гибнут на стадии яйца, зародышей или семян, молодых растений, личинок или детенышей. Так, например, самка лягушки выметывает порядка 10 000 икринок в год, но бóльшая часть их, а также значительное количество вылупившихся из икринок головастиков поедается хищными рыбами, птицами и млекопитающими. Много головастиков погибает от недостатка пищи и болезней. В результате половой зрелости достигают единичные особи, самые стойкие и наиболее приспособленные. Природа награждает их за стойкость и приспособленность возможностью дать потомство. Нет, лучше сказать так – естественный отбор награждает тех, кто победил в борьбе за существование.

Суть естественного отбора заключается в том, что выживают наиболее приспособленные. Это все, что вы хотели знать об эволюции, но боялись спросить. По формулировке самого Дарвина естественный отбор обеспечивает «сохранение полезных индивидуальных различий или изменений и уничтожение вредных».

Наследственная изменчивость, борьба за существование и естественный отбор приводят к образованию новых биологических видов. Новый вид образуется за счет расхождения

признаков, то есть – появления различий, у особей одного вида. На научном языке такое расхождение называется дивергенцией. Достигнув определенного предела, расхождение между особями внутри вида приводят к возникновению подвида. Так, в свое время, внутри вида волк возник подвид собака. По мере углубления различий между организмами подвидов возникают новые виды.

А теперь попробуйте ответить на такой вопрос – зачем природе нужен естественный отбор?

Для того, чтобы сделать экологические системы более устойчивыми за счет многообразия видов?

Или для чего-то еще?

Пока будете думать, рассмотрите картинку.

Дивергенция животных в связи с приспособлением к различным условиям среды: 1 – заяц-русак; 2 – белка-летяга; 3 – тушканчик; 4 – большая песчанка; 5 – слепыш; 6 – бобр

Ответ на вопрос можно прочесть в подписи к рисунку: «в связи с приспособлением к различным условиям среды».

Естественный отбор служит механизмом видового приспособления к определенным условиям окружающей среды.

Приспособление – девиз эволюции. Эволюция носит приспособительный характер и не понимает тех, кто поет: «Не стоит прогибаться под изменчивый мир, пусть лучше он прогнется под нас». Правда жизни заключается в том, что изменчивый мир никогда ни под кого не прогибается (и простите

автору если он кого-то расстроил). Прогибаемся мы и вообще все живое. Эволюция представляет собой приспособительное развитие или развитие ради приспособления! Приспособление первично, а все остальное вторично. Кто приспособился – тот выжил, кто не сумел приспособиться – тот проиграл.

Эволюция – процесс скорее прогрессивный, чем регрессивный. Прогрессивная направленность эволюции заключается в движении от простого к сложному, от хорошего к лучшему. В результате эволюции уровень организации организмов усложняется. Усложняется в большинстве случаев, поскольку организмы, имеющие более сложную организацию, лучше приспосабливаются к условиям окружающей среды. Но в ряде случаев может наблюдаться обратный процесс. Например – многоклеточные грибы, приспособившиеся к обитанию в жидких средах, богатых питательными веществами, возвращаются к одноклеточному строению. Другим примером служит упрощение строения червей, перешедших от «вольной жизни» к паразитизму.

Кроме естественного отбора, который является не только движущей силой, но и фактором (или условием) эволюции, у эволюции существует еще три основных фактора – мутационный процесс, популяционные волны и изоляция.

Постоянные мутации дают новые сочетания генов и новые признаки. Мутации представляют собой материал для эволюции, а мутационный процесс является поставщиком этого материала.

Популяционными волнами называют периодические или не периодические колебания численности особей в популяции. Причинами таких колебаний могут являться различные факторы окружающей среды, как «живые», так и «неживые». Влияние популяционных волн на эволюцию заключается в «перетасовке» генотипов – результате случайного уничтожения особей при каком-то катаклизме или ином процессе, редкий до тех пор генотип может сделаться наиболее распространенным и будет подхвачен естественным отбором.

Для ясности давайте рассмотрим такой пример.

Жило у бабуси 10 пар гусей – 8 белых и 2 черных.

Жили гуси у бабуси давно, размножались, съедались, шли на продажу, но белых всегда было в 4 раза больше, чем черных и эта пропорция соблюдалась.

6 белых гусей утащили лисы. Одна белая пара убежала. 2 белые пары гусей бабуся продала, а еще одну у нее выпросила соседка. Осталось у бабуси 2 пары черных гусей и одна – белых.

И стали с тех пор у бабуси черные гуси преобладать над белыми в соотношении 2 к 1.

Пример этот предельно простой, но он хорошо показывает,

каким образом популяционные волны становятся поставщиком эволюционного материала.

К популяционным волнам относятся следующие изменения численности:

– периодические, которые характерны для насекомых, микроорганизмов, однолетних растений и грибов, чаще всего эти изменения носят сезонный характер (в зимний период нет многих насекомых и растений);

– непериодические, зависящие от сочетания различных факторов (уменьшение естественных врагов, увеличение пищевых ресурсов и т. п.), обычно непериодические колебания затрагивают в биогеоценозах не один вид, а несколько;

– интенсивное размножение видов в новых районах обитания, обусловленное отсутствием естественных врагов;

– вызванные с природными катаклизмами (засуха, наводнение, землетрясение, пожар и т. п.); катаклизм создает условное «бутылочное горлышко» и выживает тот, кто в это «горлышко» проскочил, но неизвестно, кто именно в него проскочит, никакой закономерности здесь нет и быть не может, проскакивают не самые приспособленные, а те, кто оказался ближе к «горлышку».

Изоляция – это барьеры, которые препятствуют свободному скрещиванию. Эволюционное значение изоляции заключается в увеличении и закреплении различий между популяциями. Каждая из изолированных популяций развивается по-своему, движется своим путем. Чем больше изолированных популяций существует внутри вида, тем шире внутривидовое разнообразие. К слову будь сказано, что внутривидовое разнообразие служит не только материалом эволюции, но и фактором, стабилизирующим виды. Чем больше разнообразия, тем стабильнее вид. Соответственно, чем больше видов в экологической системе, тем эта система стабильнее.

В зависимости от природы барьеров, различают два типа изоляции: пространственную и биологическую или репродуктивную.

Пространственная изоляция может существовать в двух видах – изоляция, обусловленная наличием естественных географических барьеров, и изоляция, обусловленная расстоянием между популяциями или отдельными особями.

При биологической изоляции скрещиванию препятствуют не географические, а биологические причины. Примером такой изоляции могут служить популяции одуванчиков, растущие на открытых и затененных местах. У птиц изолирующими факторами могут служить сдвиги времени спаривания и

гнездования, инстинкты строения гнезд, приводящие к их различному расположению, или же разные демонстративные позы при спаривании.

Какой бы ни была изоляция, принципиальное значение ее одно и тоже – изоляция вызывает и закрепляет различия между группами. Важно понимать, что, выступая в роли эволюционного фактора, изоляция не создает новых генотипов, как это делает мутационный процесс. Изоляция дает генетическим изменениям возможность распространиться в популяции до значимых пределов, до такого момента, когда можно будет говорить о появлении и закреплении новых признаков. В каждой изолированной группе особей вектор естественного отбора имеет свое направление.

Если бы эволюционный процесс протекал бы без многочисленных изоляций, то жизнь на нашей планете могла бы быть представлена одним-единственным биологическим видом. Глядя на многообразие живой природы, такое невозможно представить, но мы же говорим о теоретической условной модели.

Эволюция представляет собой последовательно осуществляемый процесс, который должен приводить к определенному результату.

Дарвин выделял несколько результатов эволюции.

Главным результатом эволюции является совершенствование приспособленности организмов к условиям обитания. Эволюция целесообразна и целесообразность эта проявляется в выживании наиболее приспособленных организмов. Те, кто не сумел приспособиться, вымирают.

Обратите внимание на слова «совершенствование приспособленности». Главным результатом эволюции является не приспособление организмов к условиям обитания, а совершенствование этой приспособленности. В результате эволюции приспособленность не появляется, а улучшается!

Вариантов повышения приспособленности организмов к условиям среды, обусловленной естественным отбором, существует великое множество, начиная с маскировочной окраски, делающей организмы менее заметными, и заканчивая различными инстинктами (самосохранения, заботы о потомстве и др.).

Важно понимать (Дарвин указывал на это особо), что приспособленность организмов к среде обитания носит относительный характер. При изменении условий окружающей среды полезные признаки могут оказаться бесполезными или вредными. Так, например, заяц-беляк, обитающий на севере

Евразии, обладает способностью сезонной смены окраски в маскировочных целях. Летом его мех имеет рыжевато-серую или просто серую окраску, делающую зайца малозаметным на фоне растительности, а зимой окраска становится белой, позволяющей зайцу не выделяться на снежном фоне. Однако в случае аномально теплой зимы, когда снег не покрывает землю, белая зимняя окраска идет зайцу во вред – он становится хорошо заметным.

Другим примером могут служить водные растения, которые способны поглощать воду всей поверхностью тела и потому не нуждаются в развитой корневой системе. И это правильно, поскольку поглощение воды всей поверхностью более эффективно, чем впитывание ее одними лишь корнями. Но при пересыхании водоема слабые корни и большая площадь тела, активно испаряющего влагу, из преимущества превращаются в недостаток, приводящий растения гибели от обезвоживания.

Вторым по значимости результатом эволюции является увеличение многообразия видов в природе. Это приводит к повышению общего уровня организации жизни и придает стабильность биосфере нашей планеты.

Каким образом многообразие видов приводит к повышению общего уровня организации жизни?

Нарастание многообразия усложняет взаимоотношения между организмами. Высокоорганизованные формы организмов имеют преимущество перед остальными, в результате чего развитие живого мира осуществляется от низших форм к высшим, то есть происходит морфофизиологический прогресс (в основном, в подавляющем большинстве случаев).

Третий результат эволюции следует из второго и тесно с ним связан – эволюция приводит к преобразованию биосферы нашей планеты в целом.

Любое научное учение динамично, а не статично. Наука не стоит на месте, она перманентно развивается. Теории и концепции дополняются и уточняются, гипотезы подтверждаются или отвергаются, а время от времени совершаются открытия, которые переворачивают научные системы вверх ногами (или, если точнее – ставят их с головы на ноги).

Теория эволюции, созданная Дарвиным, тоже претерпела значительные изменения. Современное учение, существенно отличающееся от изначального дарвинизма, было создано в первой половине XX века. Оно называется синтетической теорией эволюции. Термин «синтетическая» произошел от названия книги известного английского эволюциониста Джулиана Хаксли «Эволюция: современный синтез», опубликованной в 1942 году,

основы «нового дарвинизма» были заложены задолго до Хаксли советским биологом Сергеем Четвериковым, опубликовавшим в 1926 году статью «О некоторых моментах эволюционного процесса с точки зрения современной генетики». В этой работе Четвериков связал эволюционное учение Дарвина с законами наследственности, можно сказать – примирил генетику с дарвинизмом.

Для современного человека слова «примирил генетику с дарвинизмом» звучат странно – как можно и зачем нужно мирить то, что тесно связано друг с другом. Но дело было почти сто лет назад, а тогда имел место конфликт между генетикой и дарвиновской теорией эволюции. Юная рождения генетика, родившаяся в 1900 году, вела себя словно взбалмошный подросток – по любому поводу конфликтовала с дарвинизмом. Ограниченность знаний часто приводила генетиков к ложным выводам. Чуть ли ни каждое новое открытие в области генетики приводило к нападкам на дарвиновскую теорию.

Справедливости ради надо сказать, что нападки возникали не на пустом месте, почва для них имелась. У эволюционного учения Чарльза Дарвина было одно слабое звено – представления о наследственности.

В 1867 году, спустя 8 лет после публикации «Происхождения видов», по дарвиновской теории был нанесен сокрушительный удар. Британский инженер Генри Дженкин, известный широтой своих интересов, в числе которых была и биология, высказал в адрес дарвиновской теории ряд критических замечаний, главным из которых было поглощающее влияние свободного скрещивания в популяции.

Суть естественного отбора – в закреплении полезных признаков, верно? Особь, имеющая полезный приспособительный признак, оставляет больше потомства… и так далее.

Допустим, что в популяции появилась особь с неким полезным признаком.

Но как может этот признак закрепиться в популяции? Ведь обладающая им особь будет скрещиваться только с особями, которые этого признака не имеют. И потомство особи, обладающей полезным признаком, будет скрещиваться только с «обычными» особями. Таким образом через несколько поколений полезный признак будет поглощен условным «болотом» обычных признаков. Произойдет «растворение» признака.

Вот отрывок из статьи Дженкина: «Представим белого человека, потерпевшего кораблекрушение на острове, населенном чернокожими. Возможно, наш герой станет их королем. В борьбе за выживание он убьет очень много чернокожих, он будет иметь

очень много жен и детей, в то время как многие из его подданных будут жить холостяками и умрут, не оставив потомства… Но даже при столь благоприятных условиях никто из потомков нашего героя в каком-либо поколении не станет полностью белым…».

Разумеется, этот расистский пример заслуживает осуждения, но в XIX веке взгляды были иными, и никто из современников Генри Дженкина не осудил.

Дженкин считал, что полезный признак мог сохраниться лишь в том случае, если он возникал одновременно в короткий промежуток времени (то есть – в одном поколении) у большого числа особей. Но в таком случае теряла смысл дарвиновская идея случайной изменчивости. Согласитесь, что многократно повторяющееся «случайным» назвать нельзя.

Критика Дженкина была абсолютно справедливой и выглядела на тот момент абсолютно логичной. Биологи XIX века считали, что при зачатии наследственный материал отца количественно смешивается с наследственным материалом матери (так называемая «теория слитной наследственности») и наследственность потомка представляет собой «среднее арифметическое» наследственного материала отца и матери. Дарвин, также придерживавшейся теории слитной наследственности, критику Дженкина опровергнуть не смог и назвал ее своим кошмаром. Эти нападки на Дарвина вошли в историю под названием «кошмар Дженкина».

В результате массовой критики конца XIX – начала XX веков наступил кризис дарвинского учения, который английский биолог Джулиан Хаксли метко окрестил «затмением дарвинизма». Сам Дарвин тоже поспособствовал этому кризису. Он внес в шестое издание «Происхождения видов» ряд изменений, которые противоречили его прежним взглядам. Критики стало меньше, но и логики в учении тоже стало меньше.

Речь шла не о смерти дарвинизма, обратите внимание, а именно о затмении. Подавляющее большинство биологов принимало дарвиновскую концепцию эволюции, но мало кто считал естественный отбор ее главной движущей силой – да, разумеется, все живое развивается, но вот как оно развивается, этого никто точно объяснить не может.

Объяснить пытались с различных позиций.

Одни ученые воскресили ламаркизм, признав наследование приобретенных признаков. Все особи в популяции стремятся к одному и тому же одними и теми же путями, поскольку находятся в схожих условиях. Они массово, большинством особей, «упражняют» свои органы, приобретают в течение жизни полезные признаки и так же массово передают их потомству.

Никакого «болота» при таком положении дел существовать не может, поскольку полезные признаки появляются не у единиц, а у большинства.

Другие вооружились концепцией ортогенеза, согласно которой развитие всего живого идет по заранее предначертанному природой пути и от внешних условий не зависит. Живые организмы не приспосабливаются к среде обитания, а делают то, что велит им природа. Во всем существует порядок. И точка!

Кстати говоря, «поправки», внесенные Дарвином в его учение под влиянием критиков, представляли собой смесь ламаркизма с ортогенетизмом.

Третьи были сторонниками абсолютной случайности развития всего живого, отрицающей любые закономерности. Нельзя объять необъятное и точно также нельзя искать закономерное в случайном.

К двадцатым годам XX века у генетиков накопилось столько критических замечаний в адрес дарвиновской теории эволюции, что они стали отрицать теорию Дарвина, как ложную. В ответ, наиболее рьяные дарвинисты доходили до того, что отрицали генетику как науку. В биологии возник хаос, который можно охарактеризовать отрывком из известной басни Крылова про лебедя, рака и щуку:

> «Из кожи лезут вон, а возу все нет ходу!
> Поклажа бы для них казалась и легка:
> Да Лебедь рвется в облака,
> Рак пятится назад, а Щука тянет в воду.
> Кто виноват из них, кто прав – судить не нам;
> Да только воз и ныне там».

Нужно было мирить генетиков и дарвинистов, общая ошибка которых заключалась в нежелании посмотреть на проблему с чужой точки зрения. Каждый из оппонентов, образно говоря, кидал камни в чужой огород, не видя, что там растет. «Нередко приходится встречаться со взглядами и мнениями, если и не прямо враждебными генетике, то во всяком случае характеризующими крайне сдержанное и недоверчивое отношение к ней… – писал Четвериков. – В чем же причина этого недоверия? Мне думается, что причину этому надо искать в том, что генетика в своих выводах слишком резко и определенно затрагивает некоторые уже давно сложившиеся общие теоретические взгляды, слишком жестко ломает привычные, глубоко гнездящиеся представления, а наша теоретическая мысль

неохотно меняет хорошо накатанные колеи привычных логических обобщений на неровную дорогу новых, хотя и более соответствующих нашим современным знаниям, построений».

Четвериков показал, что между данными генетики и эволюционной теорией никакого противоречия не существует. В частности, он объяснил, что признаки (мутации) не растворяются в популяциях, а сохраняются в генах отдельных особей. По мере старения вида в нем накапливается все больше и больше мутаций.

Дело, начатое Четвериковым, продолжили другие ученые и в результате дополненная (и кое-где исправленная) эволюционная теория Дарвина стала называться синтетической теорией эволюции.

Название «синтетическая», возникшее случайным образом, приобрело глубокий смысл. Лучшего названия невозможно было и придумать. Во-первых, эта теория стала продуктом синтеза, то есть обобщения взглядов многих ученых. Во-вторых, синтетическая теория эволюции обобщила данные многих направлений биологии (см. рисунок).

Основные положения синтетической теории эволюции следующие:

Материалом для эволюции служат наследственные изменения – мутации (и их комбинации).

Основным движущим фактором эволюции является естественный отбор, возникающий на основе борьбы за существование.

Наименьшей единицей эволюции является популяция.

Эволюция в большинстве случаев носит дивергентный или

расходящийся характер. Иначе говоря, один вид может стать предком нескольких дочерних видов.

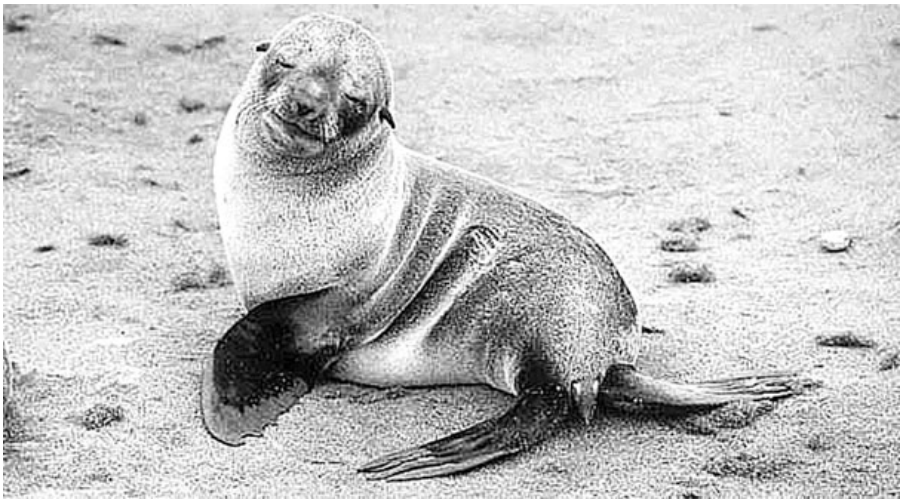
Эволюция носит постепенный и длительный характер. Видообразование, как этап эволюционного процесса, представляет собой последовательную смену одной временной популяции чередой последующих временных популяций.

Вид состоит из множества соподчиненных, морфологически, физиологически, экологически, биохимически и генетически отличных, но не изолированных репродуктивно[72] групп – подвидов и популяций.

Вид существует как целостное и замкнутое образование. Целостность вида поддерживается миграциями особей из одной популяции в другую, которые приводят к обмену генами между популяции.

Эволюция имеет ненаправленный характер (то есть она не идет в направлении какой-либо определенной конечной цели) и она бесконечна.

Эволюция носит необратимый характер. Еще Дарвин писал о необратимости эволюции: «Если даже среда обитания полностью повторяется, то вид никогда не может вернуться к прежнему состоянию». У организма, приспособившегося к новым условиям окружающей среды, происходят определенные изменения в строении и функциях. При возвращении условий окружающей среды к прежним параметрам или же при возвращении организма в прежнюю среду обитания, изменений к обратному не происходит. Проще говоря, если какой-то орган исчезает в результате эволюции, то он не восстановится при возвращении условия окружающей среды к прежним значениям. Наземные животные, будучи потомками водных обитателей, при возвращении в водную среду не становятся рыбами – посмотрите на тюленя или моржа. Они всего лишь приобретают необходимое для жизни в водной среде строение конечностей, которые превращаются в ласты и еще ряд свойств, облегчающих жизнь в водной среде.



Тюлень

Морж

Именно в рамках синтетической теории эволюции в качестве элементарной единицы эволюции выделена популяция, а не отдельная особь или вид, включающий в себя несколько популяций.

Глава одиннадцатая. Гипотеза Черной Королевы [73]

«Алиса в изумлении огляделась.

– Что это? – спросила она. – Мы так и остались под этим деревом! Неужели мы не стронулись с места ни на шаг?

– Ну, конечно, нет, – ответила Королева. – А ты чего хотела?

– У нас, – сказала Алиса, с трудом переводя дух, – когда долго бежишь со всех ног, непременно попадешь в другое место.

– Какая медлительная страна! – сказала Королева. – Ну, а здесь, знаешь ли, приходится бежать со всех ног, чтобы только остаться на том же месте! Если же хочешь попасть в другое место, тогда нужно бежать по меньшей мере вдвое быстрее!»

Льюис Кэролл, «Алиса в Зазеркалье»

(Перевод Н. Демуровой)

Суть гипотезы Черной королевы заключается в том, что для того, чтобы остаться на том же месте, приходится бежать со всех ног, для того, чтобы сохранять свою приспособленность на постоянном уровне, видам приходится активно эволюционировать. Кто остановится, того безжалостная природа сразу же снимает с дистанции и отправляет в небытие.

О гипотезе Черной королевы написано много и большинство того, что написано, слишком сложно для понимания человека, не разбирающегося в тонкостях биологии, нюансах статистики и хитросплетениях эволюции. Мозг начинает плавиться, внимание рассеивается, доводы путаются, а ночью может присниться Черная королева, которая на кровать садится и спать не дает всю ночь.

Мы разберемся с Черной королевой по-простому, без традиционного английского тумана и прочих заморочек.

Суть вы уже уяснили – тот, кто развивается, остается на своем месте в эволюционной гонке. Теперь надо уяснить смысл этой сути.

Как вы уже знаете, все живое на нашей планете может размножаться двумя путями – половым и бесполым. Бесполое размножение в целом выгоднее полового.

Во-первых, оно происходит быстрее. Не нужно тратить время и силы на поиск партнера и ждать (как это нередко случается) определенного периода для совокупления.

Во-вторых, половое размножение может представлять опасность для жизни. Самцам нередко приходится утверждать свое право на оплодотворение самок в поединках, яркая демаскирующая окраска самцов многих птиц помогает привлечь внимание не только самок, но и хищников,[74] а о самке богомола, которая после полового акта съедает самца, даже и вспоминать не хочется.

«А как же любовь?! – возразят сейчас многие из читателей. – Да ради такого замечательного чувства и всех прилагающихся к нему положительных эмоций, можно пойти на любые жертвы…».

Возможно, что и так. Но давайте не будем путать причину и следствие. Влечение к особям противоположного пола (назовите его хоть «любовью», хоть «вожделением», хоть «похотью» – суть едино) – это стимул, побуждающий к половому размножению, к совершению половых актов. Образно говоря, любовь – это пряник, созданный для стимулирования особей, размножающихся половым путем. Половой способ размножения первичен, а влечение вторично, и если вы думаете, что мать наша Эволюция будет поддерживать процесс ради прилагающегося к нему пряника, то вы слишком хорошего мнения о ней.

В-третьих, при половом размножении может теряться понапрасну огромное количество половых клеток. Самки млекопитающих регулярно теряют неоплодотворенные яйцеклетки, самцы всех животных во время полового акта выделяют гораздо больше сперматозоидов, чем нужно для оплодотворения, рыбы могут откладывать астрономические количества икринок, подавляющее большинство которых никогда не превратится в рыб… А вот при бесполом размножении клетками налево-направо швыряться не приходится, ценные ресурсы не тратятся впустую.

В-четвертых, при бесполом размножении численность особей увеличивается быстрее, чем при половом размножении. Надо ли объяснять, насколько выгоден в эволюционной борьбе быстрый прирост?

А у полового способа размножения всего одно эволюционное

преимущество – рекомбинация, возможность сочетания генов, полученных от каждого из родителей. При половом размножении виды лучше приспосабливаются к среде.

Но скажите, положа руку на сердце, стоит ли эта рекомбинация таких жертв? Микроскопические обитатели водоемов – коловратки из подкласса бделоидных (гугл вам в помощь!), добрую сотню миллионов лет обходящиеся без полового размножения, не вымерли, а продолжают жить да процветать.[75]

Одним из важнейших преимуществ, которое дает организмам половое размножение, является сопротивление к паразитам. Если организм размножается бесполым путем, то все потомство генетически одинаково или практически одинаково. При таком раскладе паразиты очень быстро приобретут способность эффективно бороться с защитой организма-хозяина, что может привести к вымиранию «хозяйского» вида. Однако же если хозяева будут быстро изменяться, в результате чего время от времени станут появляться «защитные» комбинации генов, то паразитам придется туго. Им придется перманентно приспосабливаться к изменяющимся условиям среды существования (организму-хозяину) и не факт еще, что приспособление всегда будет удачным. Образно говоря, между хозяевами и паразитами идет непрекращающаяся «гонка вооружений» – паразиты повышают приспособленность к организмам хозяев, а хозяева повышают способность противостоять паразитам. Вот вам «Черная королева» во всей ее красе – развитие идет бурными темпами, а баланс сил «хозяин-паразит» стоит на месте.

Есть мнение, что именно паразиты вынудили своих хозяев перейти от бесполого размножения к половому, то есть паразитизм сделал половой способ размножения очень выгодным с эволюционной точки зрения. Что на это можно сказать? Только одно – да здравствуют паразиты! Ведь благодаря им у нас есть любовь и прочие радости полового размножения. Кстати говоря, «гонки вооружений» наблюдается не только между паразитами и их хозяевами, но и между хищником и его добычей – зайцы из поколения в поколение повышают скорость бега для того, чтобы спасаться от волков, а волки делают то же самое для того, чтобы настигать зайцев. Беги заяц, беги волк, всем от бега будет толк!

Гипотезу Черной Королевы предложил в 1973 году американский биолог-эволюционист Ли ван Вален. Изучив историю развития ряда ископаемых видов, он пришел к выводу относительно того, что вероятность вымирания вида на всем протяжении его существования остается приблизительно

постоянной. Логично было бы предположить, что по мере развития вида и совершенствования его приспособляемости к условиям окружающей среды, шансы вида на выживание должны возрастать, однако этого не происходит. Видам приходится активно приспосабливаться вне зависимости от того, как долго они существуют и насколько они совершенны. Ван Валена называл эту ситуацию «игрой с нулевым результатом»,[76] то есть игрой, в которой нет победителей, а есть только проигравшие, которые обречены на вымирание.

В заключение этой небольшой главы давайте ознакомимся с лазейкой, которую природа приготовила для организмов, размножающихся бесполым способом. Эта лазейка называется горизонтальным переносом генов.

Почему именно горизонтальным?

Потому что в ходе этого процесса организм передает свой генетический материал организму-«непотомку». Если речь идет о передаче генов от предков к потомкам, то такой перенос называется вертикальным.

Горизонтальный перенос генов может быть естественным и искусственным, который широко используется в генной инженерии.

Если с вертикальным переносом генов все ясно – при делении клеток дочерние клетки получают полный или половинный набор ДНК от клеток-родителей, то горизонтальный перенос в голове совершенно не укладывается. Каким образом бактерии обмениваются ДНК друг с дружкой?

На самом же деле все выглядит просто. При активном переносе генов, интенсивность которого повышается в неблагоприятных условиях, клетки могут заглатывать из межклеточного пространства ДНК своих погибших собратьев. Обратите внимание – речь идет не об обмене ДНК между клетками, а о использовании ДНК погибших клеток! Фрагменты проглоченной чужой ДНК встраиваются в собственную ДНК клеток, «обновляя» ее. А пассивный перенос ДНК осуществляют вирусы, которые поражают клетки (вирусы также используются для переноса генов в генной инженерии).

Глава двенадцатая. Монах, который выращивал горох

С древнейших времен человечество пыталось понять, как именно осуществляется процесс передачи признаков от родителей к детям. Инструмент для установления истины был всего один – логические рассуждения. Разумеется, додуматься до ДНК, хромосом и генов не могли даже лучшие умы. Все рассуждения в конечном итоге сводились к некоей «оплодотворяющей субстанции» (слова, слова и только слова!), непонятному продукту, который образуется непонятно где.

Поставьте себя на место древних ученых, заблокируйте в своем сознании все, что вам известно о генах, и попробуйте объяснить, почему дети одной женщины, рожденные от разных отцов, имеют мало сходства друг с другом, и довольно много – с отцами. Причем сходство это «многолико» – оно проявляется и в телосложении, и в цвете волос, и в чертах лица, и в голосах… А если ребенок в чем-то не похож на отца, то, скорее всего, он в этом будет похож на мать. Вот как передается такое сходство?

К слову будь сказано, что проблема наследования признаков имела не только познавательное, но и прикладное значение, начиная с установления отцовства в спорных случаях и заканчивая выведением новых пород животных.

Подумайте хорошенько. Только помните – никаких генов с хромосомами в вашем объяснении быть не должно!

Вот как бы вы ни изощрялись в логике, сколько бы ни напрягали воображение, результат будет предсказуемым. Одно из двух – или вы решите, что оплодотворяющая субстанция складывается из продуктов, вырабатываемых всеми органами и частями тела, или что она является частицей жизненной силы, которая делает неживое живым.

Что в лоб, что по лбу, но если уж говорить начистоту, то версия с «частицей жизненной силы», согласно которой оплодотворяющий продукт не «собирается с миру по нитке», а производится из особых веществ, более близка к истинному положению дел, ведь половые клетки производятся половыми органами. Но более двух тысячелетий, вплоть до второй половины XIX века, в науке господствовала первая версия, согласно которой в образовании оплодотворяющих продуктов принимали участие все органы организма.

Почему предпочтение было отдано этой версии?

Потому что ее выдвинул отец медицины Гиппократ,

авторитет которого был настолько велик, что все сказанное им безоговорочно признавалось истиной не только в античные времена, но и в Средние века, и в Новое время. Надо сказать, что с точки зрения логики версия «с миру по нитке» выглядела более убедительной, поскольку позволяла объяснять передачу по наследству некоторых болезней или же предрасположенности к ним. Все элементарно, ведь здоровые органы вырабатывают здоровый продукт, а больные – нездоровый.

А вот Аристотель считал, что наследственность каждый организм получает от отца в виде некоего нематериального начала, жизненной силы, называемой энтелехией. А мать обеспечивает прозаическую сторону дела – предоставляет ребенку материю для развития.

Отец эволюции Чарльз Дарвин придерживался примерно тех же взглядов, что и отец медицины Гиппократ. В работе «Изменение животных и растений в домашнем состоянии» Дарвин сформулировал теорию пангенезиса, согласно которой все клетки животных и растений отделяют от себя геммулы – крошечные частицы, которые поступают в половые органы и образуют в них половые клетки. Каждая половая клетка получала полный набор геммул, наследственную информацию от всех клеток организма.

Теория (а если точнее, то – гипотеза) пангенезиса объясняла наследование приобретенных признаков. Изменившиеся клетки вырабатывают новые геммулы, отличающиеся от тех, которые они вырабатывали прежде… Логично? Вполне.

Дарвин признавал умозрительно-предположительный характер теории пангенезиса[77] и называл ее «временной гипотезой», существующей до тех пор, пока кто-то не внесет окончательную ясность в вопросы наследственности и изменчивости. Но при всем том ни у Дарвина, ни у большинства его современников не было сомнений в том, что наследственная информация для половых клеток собирается со всего организма, и что ее транспортировка осуществляется при помощи крови. Судите сами – ну разве можно было в XIX веке предположить, что «матричная» программа развития изначально заложена в каждую клетку организма?

У Чарльза Дарвина был двоюродный брат по имени Фрэнсис Гальтон, гениальный ученый, вклад которого в науку в целом сопоставим с дарвинским. Разница лишь в том, что вклад Дарвина можно сравнить с одной огромной глыбой – теорией эволюции путем естественного отбора, а вклад Гальтона состоял из нескольких частей меньшего масштаба. Так, например, Гальтон основал дифференциальную психологию, науку о психологических различиях у представителей разных социальных

групп, и психометрию – теорию и методику психологических измерений. Он открыл первую в истории антропометрическую лабораторию и первым обосновал возможность использования отпечатков пальцев в криминалистике, доказав, что у двух людей не может быть одинаковых отпечатков пальцев.

Гальтон решил сделать то, до чего у Дарвина не дошли руки – получить практическое подтверждение наличия геммул, но вместо подтверждения получилось опровержение. Надо сказать, что в науке такое случается часто.

Если геммулы содержатся в крови, то с кровью можно передавать признаки от одной особи к другой, верно?

Гальтон переливал кровь от кроликов с темной окраской шерсти кроликам со светлой шерстью. Геммулы темной окраски, содержащиеся (якобы содержащиеся) в перелитой крови, должны были попасть в половые продукты светлошерстных кроликов и проявить себя в их потомстве. Однако ожидаемого потемнения шерсти у потомства не наблюдалось. Даже частичного потемнения не было – шерсть потомков оставалась такой же светлой, как и шерсть их родителей. Стало ясно, что в крови нет никаких геммул.

Книга Дарвина «Изменение животных и растений в домашнем состоянии» была опубликована в 1868 году, спустя два года после публикации работы австрийского монаха-августинца Грегора Менделя «Опыты над растительными гибридами». Дарвину «Опыты» были знакомы, но он просто ознакомился с ними, не вникнув в суть, иначе бы вместо геммул придумал бы другую гипотезу, более близкую к реальному положению дел.

Но прежде чем мы перейдем к рассказу о монахе, который выращивал горох, нужно сказать пару слов о генах и их свойствах.

Главным свойством гена является его дискретность или, если можно так выразиться, «отдельность». Каждый ген существует сам по себе. Гены не могут смешиваться друг с другом с образованием новых генов, это исключено. Ген может подавлять другой ген, но не может с ним слиться. У кареглазого отца и голубоглазой матери может родиться ребенок с карими (более вероятно) или голубыми (менее вероятно) глазами, но у них не может быть ребенка с коричневато-голубоватыми глазами, цвет которых представляет собой нечто среднее между карим и голубым.

Дискретность – очень важное свойство. Именно оно делает ген структурной и функциональной ЕДИНИЦЕЙ наследственности.

Можно представить, что было бы, если бы гены не обладали дискретностью… А ничего не было бы! Систематическое размножение организмов при отсутствии дискретности генов

невозможно. Дочерняя клетка должна получить от материнской четко структурированную программу развития, а не некую условную «генную кашу». Дискретность неразрывно связана с другим свойством генов – их стабильностью, которая выражается в способности функционировать, не изменяя собственной структуры. Считывание наследственной информации не изменяет ген, не «портит» его. Каким ген был, таким он и остался. Но, в то же время стабильность генов сочетается с их лабильностью – способностью изменяться. Да – гену присущи такие взаимоисключающие свойства, как стабильность и лабильность. И ничего сверхъестественного в таком сочетании нет. Сам по себе, как структурная единица молекулы ДНК, ген стабилен и в процессе исполнения своих функций не изменяется. Но он может измениться при копировании ДНК или же при восстановлении поврежденной цепи ДНК. Короче говоря, гены способны изменяться в результате каких-то «глобальных» (с точки зрения генов) процессов, происходящих со всей молекулой ДНК. Но сам по себе ген стабилен.

Гены, отвечающие за развитие одного признака, могут существовать в различных формах, которые называются аллелями. Аллельные гены составляют пары. Один ген в аллельной паре получен от отца, а другой – от матери (вспомните, что при половом размножении потомки получают по половинному набору генов от каждого из родителей, в этих половинных наборах содержится по одному аллельному гену из пары). Гены обладают экспрессивностью. Это свойство можно назвать «силой гена» или способностью подавлять парный ген. Чем экспрессивнее ген, тем сильнее он подавляет своего аллельного «напарника». Так, например, ген карих глаз подавляет ген голубых глаз. Если у отца глаза карие, а у матери – голубые, то у ребенка скорее всего[78] будут карие глаза.

Конкуренция парных генов приводит к тому, что одни признаки наследуются от отца, а другие – от матери. Или – или, в наследовании никогда не бывает половинчатости. Подавлять друг друга гены могут, а смешиваться – нет. Если вы это твердо усвоили, то можете считать себя человеком, разбирающимся в генетике.

Организм, который имеет два абсолютно одинаковых аллельных гена, называется гомозиготным по данному признаку (по тому признаку, который кодирует эта пара генов). Также гомозиготные организмы могут называться «чистыми».

Гетерозиготным называется организм, содержащий в аллельной паре разные гены. Также гетерозиготные организмы могут называться «гибридными».

Скрещивание форм, отличающихся друг от друга по одному альтернативному признаку, за который отвечает одна аллельная пара гена, называют моногибридным. Приставка «моно-» означает «один» – гибридизация производится только в отношении одного признака. Если заменить «моно-» на «ди-», то речь будет идти о двух разных признаках. И так далее.

Монах Грегор Мендель развлекался на досуге моногибридным и дигибридным скрещиванием гороха посевного. Вообще-то, в экспериментах по скрещиванию нет ничего гениального или необычного. Гениальность менделевских экспериментов заключалась в методе.

Во-первых, Мендель исследовал только простые, наглядные, хорошо определяемые признаки, такие как цвет семян или их форма.

Во-вторых, Мендель выбирал для скрещивания только альтернативные признаки, которые имели только два четко различающихся варианта и не имели промежуточных вариантов (семена гороха могли быть либо гладкими, либо морщинистыми, но не гладко-морщинистыми или же морщинистыми в различной степени).

В-третьих, Мендель проводил моногибридные скрещивания, в которых участвовали растения, отличающиеся друг от друга только по одному признаку.

В-четвертых, Мендель наблюдал передачу признака на протяжении НЕСКОЛЬКИХ поколений. Это обстоятельство имело очень важное значение.

В-пятых, Мендель фиксировал количество особей с определенным признаком и тщательно анализировал полученные данные. Количественный анализ имел такое же важное значение, что и наблюдение за признаком в нескольких поколениях.

Читая про эксперименты с горохом, помните, что Мендель не имел понятия о генах, о аллелях, о подавлении одного гена другим и о прочих премудростях генетики. Если уж на то пошло, то генетика началась с его экспериментов.

Вообще-то Мендель исследовал семь пар альтернативных признаков – форму и окраску семян, окраску цветков и их положение на побеге, высоту растения, окраску незрелых бобов и форму зрелых. Но мы ограничимся рассмотрением двух исследований, потому что законы наследования одинаковы для всех признаков (и у всех живых существ, размножающихся половым способом).

Первым делом Мендель скрестил сорта гороха с пурпурными и белыми цветками и получил потомство с пурпурными цветками. Ни одного белого цветка в первом поколении (которое принято

обозначать как F1) не было.

Мендель сделал вывод о том, что у гибридов первого поколения проявляется лишь один альтернативный признак – преобладающий, он же доминантный (господствующий). Слабый признак, подавляемый преобладающим (в данном случае – белую окраску цветков) Мендель назвал рецессивным.

Единообразие гибридов первого поколения Мендель назвал правилом доминирования. В наше время оно известна как закон доминирования или первый закон Менделя.[79]

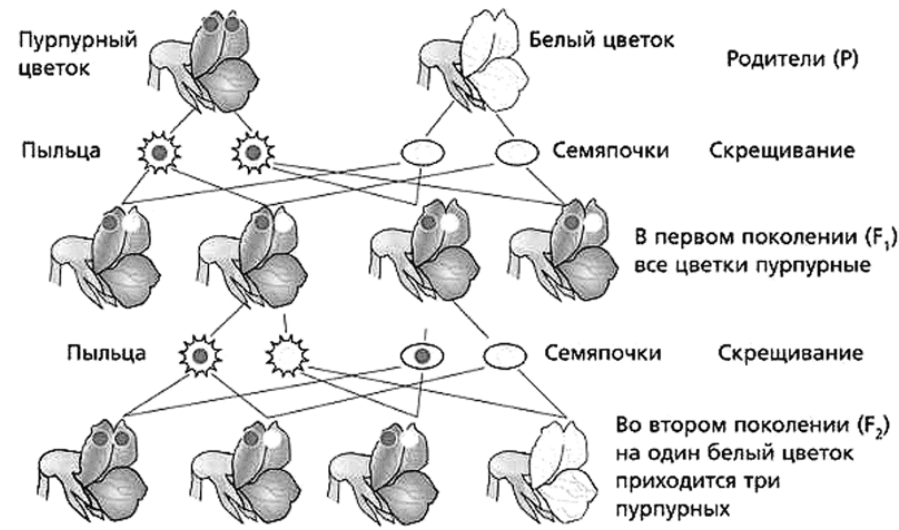


Схема опыления и результатов скрещивания гороха с пурпурными цветками и белыми цветками

Первый закон по-научному называется законом единообразия гибридов первого поколения и в «официальной» формулировке звучит следующим образом: при скрещивании двух гомозиготных организмов, относящихся к разным чистым линиям и отличающихся друг от друга по одной паре альтернативных проявлений признака, все первое поколение гибридов окажется единообразным и будет нести проявление признака одного из родителей.

Тяжеловатая формулировочка, верно? Проще запомнить, что у гибридов первого поколения проявляется только доминантный признак. У кареглазого отца, не имеющего ни одного голубоглазого предка, и голубоглазой матери будут рождаться дети с карими глазами. Только с карими! Если вдруг родится голубоглазый ребенок, то ищите другого отца.

При скрещивании гибридов первого поколения Мендель получил во втором поколении (F2) растения с признаками обоих

родителей – как с пурпурными, так и с белыми цветками. Причем во всех сериях экспериментов признаки, будь то окраска цветков или форма семян, во втором поколении распределялись в одной и той же пропорции. 75 % или ¾ от общего числа растений имели доминирующий признак (в данном примере – пурпурную окраску цветков), а 25 % или ¼ часть растений имела рецессивный признак (белую окраску цветков).

Такое распределение признаков среди гибридов второго поколения позволило Менделю сделать вывод относительно того, что рецессивный признак у гибридов первого поколения не исчезает, а всего лишь подавляется доминантным признаком.

Если бы Дарвин обратил внимание на распределение признаков во втором гибридном поколении и задался бы вопросом «почему так происходит?», то он бы не стал придумывать гемммулы. Действительно – о каких геммулах может идти речь, если у родителей с красными цветками часть потомства имеет белые цветки?

Как в организме растения с красными цветками может выработаться геммула белой окраски?

Никак! Она может только спрятаться, затаиться до лучших времен.

Давайте посмотрим, каким образом рецессивный признак проявляется во втором поколении.

Если мы обозначим ген, отвечающий за доминантный признак заглавной буквой «А», а ген, отвечающий за рецессивный признак, прописной буквой «а», то схема первого скрещивания будет выглядеть следующим образом:

$$Aa \times aa = Aa + Aa$$

В половых клетках содержится по одному гену из каждой пары. Пара Аа разбивается на два гена А, а пара аа – на два гена а. Соединение А с а дает одну-единственную комбинацию Аа, в которой доминантный ген подавляет рецессивный.

Но во втором поколении при скрещивании особей с генотипами Аа возможны три комбинации отцовских и материнских генов – АА, Аа **и** аа. Схематически это можно выразить следующим образом:

$$Aa \times Aa = \mathbf{AA} + Aa + aa$$

Давайте уравняем эту схему-уравнение таким образом, чтобы слева и справа было бы одинаковое количество букв «А» и «а», подобно тому, как уравнивают химические уравнения. Получим следующее:

2Aa x **2Aa** = **AA** + **2Aa** + aa

В ¾ потомства второго поколения проявится доминантный ген (1 часть особей с набором АА и 2 части с набором Аа), а в ¼ – рецессивный (1 часть особей с набором аа).

Закономерность, характеризующуюся проявлением признаков обоих родителей во втором поколении гибридов, Мендель назвал «расщеплением», имея в виду, что единый признак первого поколения расщепляется на два признака. Название не очень удачное,[80] но оно прижилось и используется по сей день.

Закон расщепления или второй закон Менделя гласит, что при скрещивании двух гетерозиготных потомков первого поколения между собой, во втором поколении наблюдается расщепление в определенном числовом отношении: по фенотипу 3:1, по генотипу 1:2:1.

Фенотипом называется совокупность всех признаков организма.

Генотипом называется совокупность всех генов организма.

Генотип определяет фенотип. По генотипу можно точно судить о фенотипе, например – растение с генотипом АА или Аа будет иметь красные цветки, а растение с генотипом аа – белые. Но вот генотип можно угадать по фенотипу только в том случае, когда фенотип представлен рецессивным признаком. Растение с белыми цветками наверняка имеет генотип аа, а вот при красных цветках может быть как АА, так и Аа.

По фенотипу в ¾ потомства второго поколения проявится доминантный ген, а в ¼ – рецессивный, поэтому соотношение будет 3:1. А генотип второго поколения будет представлен тремя комбинациями генов: АА, 2Аа и аа, поэтому соотношение будет 1:2:1.

От моногибридных скрещиваний Мендель перешел к дигибридным. Ему хотелось увидеть, каким образом проявляются при скрещивании парные альтернативные признаки. Для этого он провел серию опытов по скрещиванию гороха с гладкими желтыми семенами и с зелеными морщинистыми. Гладкость и желтая окраска семян являлись доминантными признаками.

Согласно правилу доминирования, в первом поколении все семена оказались гладкими и желтыми. Во втором поколении произошло ожидаемое расщепление признаков, причем наряду с родительскими гладкими желтыми и морщинистыми зелеными, появились и совершенно новые семена – морщинистые желтые и гладкие зеленые. Таким образом Мендель установил, что расщепление в обоих парах признаков происходит независимо друг от друга и при этом возможно перераспределение (по-

научному – рекомбинация) признаков с созданием сочетаний, не встречающихся у родительской пары.

Скрещивание особей AABB (гладкие желтые семена) с особями **aabb** (зеленые морщинистые семена) в первом поколении дало единственно возможную комбинацию генов **AaBb** обусловившую желтый цвет семян и их гладкость. Но во втором поколении было получено 12 различных комбинаций генов, которые наглядно представлены на рисунке вместе с обуславливаемыми ими фенотипами. И расщепление одной пары признаков – желтая и зеленая окраска семян, совсем не связано с расщеплением другой пары – гладкая и морщинистая форма семян. Каждый признак, образно выражаясь, «гуляет сам по себе».

В потомстве все родительские признаки распределяются независимо друг от друга – вот третий закон, открытый Менделем. В научном изложении этот закон звучит так: «при скрещивании двух особей, отличающихся друг от друга по двум и более парам альтернативных признаков, гены и соответствующие им признаки наследуются независимо друг от друга и комбинируются во всех возможных сочетаниях».

Вспомните мейоз и вы поймете, почему аллели разных генов наследуются независимо. При мейозе пары гомологичных хромосом (а, следовательно, и парные гены) расходятся по разным половым клеткам.

Для определения фенотипов и генотипов потомства при дигибридном скрещивании английский генетик Реджинальд Пеннет предложил «решетку Пеннета» – удобный, наглядный графический метод. Решетка Пеннета представляет собой таблицу, по вертикальной оси которой следует размещены гаметы мужского родительского организма, а по горизонтальной – женского. В местах пересечения вертикалей и горизонталей записываются генотипы дочерних организмов. Таблица, изображенная на рисунке, изображающем расщепление при дигибридном скрещивании семян гороха – это решетка Пеннета, очень удобная штука, позволяющая избежать путаницы и ошибок при расчете вариантов.

Все три закона Менделя универсальны для всех живых организмов, от слона до самой маленькой улитки. Все живое на нашей планете имеет единое происхождение и единую систему кодирования наследственной информации.

В 1902 году британский биолог Уильям Бэтсон, придумавший генетике такое название, сформулировал закон чистоты гамет (половых клеток), дополняющий третий закон Менделя. Согласно этому закону, в каждую гамету попадает только один аллель из аллельной пары родительской особи. Суть этого закона

заключается в том, что доминантные и рецессивные аллели не смешиваются между собой, соединяясь в потомстве и при образовании гамет расходятся «чистыми», то есть такими же, какими и были.

$$A + a \rightarrow Aa \rightarrow A + a$$

В дальнейшем было установлено, что законы Менделя о независимом наследовании признаков при дигибридном (полигибридном) скрещивании действуют лишь в том случае, когда разные гены располагаются в разных парах гомологичных хромосом. Если два гена находятся в одной хромосоме, то расщепление признаков в потомстве гибридов будет иным, ведь гены одной хромосомы образуют так называемую «группу сцепления», которая при мейозе обычно[81] попадает в одну гамету.

Совместное наследование генов приведет к тому, что вместо ожидаемого расщепления по фенотипу в соотношении 9:3:3:1[82] будет получено соотношение 3:1, как при моногибридном скрещивании. В примере с семенами гороха сцепление генов дало бы во втором поколении только гладкие желтые и морщинистые зеленые (те же, что и у родителей) в соотношении 3:1. Сцепленные гены, сколько бы их ни было, можно условно рассматривать как один ген и применять к ним законы моногибридного скрещивания.

Закономерности сцепленного наследования были установлены американским биологом Томасом Морганом, который в качестве объекта своих исследований использовал плодовую муху дрозофилу, у которой гены, отвечающие за окраску тела и длину крыльев, находились в одной паре гомологичных хромосом и наследовались совместно.

Результатом исследований Моргана стало создание им хромосомной теории наследственности, которая впоследствии дополнялась другими учеными. На сегодняшний день основные положения этой теории таковы:

– гены находятся в хромосомах и расположены в линейной последовательности;

– различные хромосомы содержат неодинаковое число генов;

– набор генов каждой из негомологичных (непарных) хромосом уникален;

– аллели генов занимают одинаковые локусы в гомологичных (парных) хромосомах;

– гены одной хромосомы наследуются преимущественно совместно, образуя группу сцепления;

– сцепление нарушается в результате кроссинговера, что

приводит к образованию хромосом с новыми комбинациями генов, причем вероятность расхождения генов по разным хромосомам прямо пропорциональна расстоянию между ними – чем больше расстояние между генами, тем слабее связь между ними и больше шансов у них чаще оказываться в разных гаметах.

В самом начале этой книги, когда шла речь о митохондриях, было упомянуто о том, что митохондриальная ДНК наследуется только от матери. Наследование ДНК, находящегося вне ядра, называется цитоплазматической наследственностью и эту наследственность нужно отличать от хромосомной или ядерной.

Цитоплазматическая наследственность не настолько значима, как хромосомная, но пренебрегать ею нельзя, потому что такое отношение может обернуться отрицанием фундаментальных законов генетики. Так, например, признаки, приобретенные в течение жизни под воздействием факторов окружающей среды, по наследству не передаются, в хромосомах «не записываются». Это «железный» факт, не знающий исключений. Но при этом известны примеры наследуемых модификационных изменений, мы об этом тоже говорили. Попала в половую клетку РНК, блокирующая считывание информации с определенного участка конкретной молекулы ДНК – и вот вам повторение приобретенного признака в потомстве.

В XX едва не дошло до воскрешения ламаркизма, когда было установлено, что умеренное температурное воздействие на куколки колорадского жука вызывает изменение окраски взрослых особей и это изменение окраски передается потомству и проявляется в нескольких последующих поколениях. Передача приобретенных признаков по наследству!.. Жираф вытягивает шею… Атлант расправляет плечи… Лягушка тренирует задние лапы…

Но на самом деле никакого воскрешения ламаркизма быть не могло, потому что ламаркизм антинаучен. Изменения окраски под температурным воздействием было обусловлено цитоплазматической наследственностью – вместе с хромосомной ДНК в половые клетки проникали молекулы РНК, управлявшие считыванием генетической информации.

Тайн у генетики много и далеко не все они раскрыты. Но наличие нераскрытых тайн не означает отрицания основополагающих законов.

Как-то так.

И никак иначе.

Глава тринадцатая. Крекс! Фекс! Пекс! Мутабор!

Мутацией называется стойкое изменение генома, приводящее к изменению наследственной информации. Слово «стойкое» означает, что это изменение может передаваться потомкам.

Название «мутация» произошло от латинского слова «мутацио» означающего «изменение», а это слово, в свою очередь, образовано от глагола «муто» – «изменять» или «превращать». Помните волшебное заклинание «мутабор», превращающее людей в животных и обратно из сказки Вильгельма Гауфа «Калиф-аист»? «Мутабор» означает «я изменяюсь».

Научное определение мутации звучит следующим образом: «мутация представляет собой внезапное качественное изменение структуры ДНК в одном локусе (генная мутация) или изменение числа или микроструктуры хромосом (хромосомная мутация)». Мутация может затрагивать отдельный ген или же хромосому, участок молекулы ДНК или всю молекулу.

Процесс возникновения мутаций называется мутагенезом, фактор, вызывающий мутацию, называется мутагеном, а организм, изменивший свой фенотип в результате мутации, называется мутантом. Различают естественные, самопроизвольно возникшие мутации, и индуцированные, вызванные искусственно при помощи каких-либо мутагенов. Принципиальной разницы между спонтанными и индуцированными мутациями нет, суть процесса одна и та же – изменение генов и хромосом.

Многообразие жизни на нашей планете обусловлено мутациями. Благодаря мутациям, был пройден великий путь от праклетки, зародившейся в Мировом океане, до Человека разумного – венца творения и совершенства во всех отношениях (ну, во всяком случае, на сегодняшний день более совершенного организма на Земле не существует).

Знаете ли вы, что именно благодаря мутациям ученые узнали о том, что гены существуют на самом деле, а не являются выдумкой? Мутации дали ученым возможность обоснованно предположить существование генов в то время, когда этих самых генов никто и в глаза не видел.

Одной из основных теорий генетики является мутационная теория, созданная голландским ботаником Хьюго Де Фризом в начале XX века.

Вот основные ее положения:

Положение первое. Мутации возникают внезапно*, без всяких*

переходов как дискретные (прерывные) изменения признаков.

Так оно и есть, только вот существует особый тип мутаций, которые накапливаются в течение ряда поколений. Такие мутации называются прогрессирующей амплификацией в интронах.

Непонятно?

Давайте разбираться.

Интронами называются участки ДНК, которые не кодируют наследственную информацию, а играют некую вспомогательную (и до конца пока еще не изученную) роль. Когда с молекулы ДНК копируется РНК-матрица для синтеза белка, участки-интроны игнорируются.

Амплификацией называется многократное повторение участка хромосомы. По каким-то причинам отдельный участок начинает копироваться и делает это несколько раз. Условно говоря, была в молекуле последовательность нуклеотидов «-ААГ-ЦГТ-ГГГ-», но вдруг она превратилась в «-ААГ-ЦГТ-ЦГТ-ЦГТ-ЦГТ-ЦГТ-ГГГ-».

Прогрессирующая амплификация в интронах – это нарастающее повторение (копирование) определенного вспомогательного участка молекулы ДНК.

Казалось бы – раз участок вспомогательный, то какая беда от того, что он несколько раз повторится? И пусть даже это «несколько раз» увеличится в несколько раз. На синтез конкретных белков это изменение не влияет. В образовании матриц для синтеза белков интроны не участвуют.

Да, не участвуют, но при этом они для чего-то нужны, иначе их бы не было. У рачительной матери-природы ничего ненужного не существует. А если что-то и кажется нам ненужным, так это только вследствие недостатка знаний о предмете. Какую-то свою роль интроны играют и это доказывается тем, что их амплификация может приводить к развитию заболеваний. Так, например, умножение кодона ЦАГ в гене HTT[83] свыше 36 повторов, приводит к развитию болезни Гентингтона (она же – хорея Гентингтона), тяжелого заболевания нервной системы для которого характерно сочетание прогрессирующих двигательных и психических расстройств. А многократное копирование кодона ЦТГ в гене DMPK[84] нарушает выработку фермента миотонинпротеинкиназы, что приводит к развитию миотонической дистрофии – нарушению питания мышечных клеток.

Так что мутация мутации рознь. Подавляющее большинство мутаций возникает внезапно, но иногда мутации могут накапливаться аж в нескольких поколениях.

Положение второе. Новые формы генотипов, образовавшиеся в результате мутаций, устойчивы и могут передаваться по наследству.

Тут комментировать нечего – результаты мутаций наследуются.

Положение третье. Мутации представляют собой качественные изменения.

Да, так оно и есть – мутация в гене приводит к изменению структуры белка или РНК, кодируемого данным геном. Измененный продукт обладает иными свойствами – качественное изменение налицо. Однако существуют так называемые ликовые мутации, вызывающие незначительные изменения в кодируемых продуктах. Правильнее будет сказать, что в большинстве случаев мутации приводят к качественным изменениям.

Положение четвертое. Мутации происходят в разных направлениях и могут быть как полезными, так и вредными.

Все так. Только важно понимать, что сами по себе мутации не являются «полезными», «вредными» или «нейтральными». Мутации – это материал естественного отбора, но не способ приспособления к условиям внешней среды. Все зависит от условий окружающей среды. Среда оценивает мутации, среда решает, вреден данный признак или полезный. Разные условия могут придавать одной и той же мутации различный адаптивный характер. Простейшим примером может служить появление белой окраски у животного, живущего в условиях Крайнего Севера и у животного, обитающего в тропиках. На севере эта мутация будет полезной, маскирующей, а в тропиках – наоборот.

Ни у растительных, ни у животных организмов нет механизма, целенаправленно вызывающего полезные мутации, а то ведь реально можно бы было «воспитывать» пшеницу холодами, отчего пшеница сама собой приобретала бы морозоустойчивость. Селекционерам при таком раскладе было бы очень легко работать – создай растению или животному ситуацию, из которой ему придется «выкручиваться» и пожинай плоды.

То, что мутации не возникают целенаправленно как приспособительная реакция, было доказано еще в сороковых годах прошлого века, в ходе простого, но очень убедительного эксперимента. Культуру бактерий кишечной палочки распределили мелкими порциями по сотне пробирок, выдержали некоторое время в одинаковых условиях, давая бактериям возможность размножиться в разных популяциях-пробирках, а затем подвергли воздействию одного и того же антибиотика и сразу же после этого пересчитали выживших бактерий в каждой

из пробирок.

Количество выживших бактерий повсюду оказалось разным! Причем, разница эта была довольно существенной.

Что из этого следует?

То, что устойчивость к антибиотику была приобретена выжившими бактериями в случайном порядке, еще до его применения, а не возникла как реакция на его действие. Если бы устойчивость была бы следствием действия антибиотика, то количество выживших бактерий было бы примерно одинаковым во всех пробирках, потому что один и тот же фактор в одинаковых дозах оказывает на одинаковые организмы, находящиеся в одинаковых условиях одинаковое действие.

Положение пятое. Одни и те же мутации могут возникать неоднократно.

Это правило справедливо только для генных мутаций – изменений в данном конкретном гене. Изменения, касающиеся хромосом, вследствие сложного их характера, являются уникальными и неповторимыми.

Положение шестое. Вероятность обнаружения мутаций зависит от числа исследованных особей.

Тут добавить нечего. Как говорится – чем больше сеть, тем крупнее улов.

Выдающийся отечественный биолог Николай Вавилов в 1920 году сформулировал закон гомологических рядов наследственной изменчивости, названный законом Вавилова, согласно которому близким видам и родам организмов свойственны сходные ряды наследственной изменчивости. Иначе говоря, чем ближе родственные связи групп организмов, тем большее сходство наблюдается в ряду их изменчивости.

Родственники изменяются схожим образом, у близких родственников могут наблюдаться одни и те же мутации, родственники наследуют от общих предков одни и те же мутации. Именно по этой причине браки между близкими родственниками считаются нежелательными. Дело в том, что случайное совпадение по носительству одного и того же рецессивного генетического дефекта у обоих супругов, не состоящих в родстве, представляет собой весьма редкое событие. Обычно рецессивный ген, полученный от одного родителя будет подавляться в паре доминирующим геном другого родителя. Но если в брак вступают родственники, то вероятность такого совпадения резко увеличивается. И если рецессивный ген является «вредным», то совпадение по нему приведет к заболеваниям или уродствам. Чем ближе степень родства между супругами, тем выше опасность генетических осложнений для их потомства.

В Семейном кодексе РФ сказано (глава 3, статья 14): «не допускается заключение брака между… близкими родственниками (родственниками по прямой восходящей и нисходящей линии (родителями и детьми, дедушкой, бабушкой и внуками), полнородными и неполнородными (имеющими общих отца или мать) братьями и сестрами)».

Вы, наверное, слышали о том, что вирус гриппа отличается высокой изменчивостью. Да, так оно и есть. Если бы этот проклятый вирус не изменялся, то мы бы болели гриппом один раз в жизни. Стойкий иммунитет, развивающийся в результате перенесенного заболевания, не дает вирусу второго шанса вызвать заболевание. Но иммунитет «нацелен» на данный конкретный вирус. Если вирус изменится, точнее – если изменятся белки его оболочки, служащие опознавательными маркерами для клеток иммунной системы, то иммунная система не встретит его «в штыки» и он сможет вызвать заболевание. Вот поэтому мы и болеем гриппом многократно.

Но при этом существуют противогриппозные вакцины. Ежегодно проводятся прививки от гриппа. Вас это не удивляет? Ведь высокая изменчивость вируса гриппа делает прошлогоднюю (условно) вакцину бесполезной. А прививки проводятся перед вспышкой гриппа. «Перед», обратите внимание, а не «во время» и уж тем более не «после». Вдобавок, на создание вакцины и производство нужного количества требуется определенное время. Откуда производители вакцин могут знать, с каким вирусом гриппа человечество столкнется в будущем?

Изменчивость вируса прогнозируют ученые. Современные возможности генетики позволяют довольно точно предсказывать будущие эволюционные изменения вируса, если известна его предыдущая эволюция. Задача облегчается тем, что у вируса гриппа «всего-навсего» 11 генов. На основании научного прогноза Всемирная организация здравоохранения ежегодно рекомендует производителям новый состав противогриппозной вакцины.

Особое место среди мутаций занимают соматические мутации, возникающие не в половых клетках, а в клетках тела. Принципиальное отличие соматических мутаций заключается в том, что при половом размножении они не передаются потомству. Они могут быть переданы только при бесполом размножении, если дочерние организмы развиваются из клетки или группы клеток, с мутировавшим геном.

К слову будь сказано, что мутации, возникающие в половых клетках и передающиеся потомству, называют генеративными мутациями.

Соматические мутации, как вы понимаете, не касаются всего

организма в целом и потому не могут носить приспособительного характера. Проще говоря, пользы от них никакой, а вот вред может быть огромным. Нередко соматические мутации приводят к неконтролируемому росту клеток, то есть – к развитию онкологических заболеваний. Также они могут вызвать доброкачественные опухоли и нарушение работы внутренних органов. Есть гипотеза, связывающая процесс старения с накоплением в клетках мутагенов – факторов, вызывающих мутации.

Мутагены воздействуют на молекулы ДНК, изменяя их структуру, а также могут повреждать некоторые белки, участвующие в «тиражировании» молекул ДНК или же в процессе клеточного деления.

По своей природе мутагены подразделяются на физические, химические и биологические.

Самыми известными физическими мутагенами являются различные виды ионизирующего излучения: ультрафиолетовое, нейтронное, рентгеновское, гамма-излучение и др. Эти виды излучения называются ионизирующими благодаря своей способности образовывать ионы из нейтральных атомов или молекул в тех веществах, через которые они проходят. Грубо говоря, ионизирующее излучение своей энергией «выбивает» электроны из атомов. Атом, лишившийся электрона, становится положительно заряженным ионом. Другие атомы присоединяют бесхозные выбитые электроны и превращаются в отрицательно заряженные ионы.

При ионизации в молекулах ДНК возникают разрывы. Эти разрывы восстанавливаются, но при восстановлении последовательностей нуклеотидов в цепи ДНК могут происходить ошибки, изменяющие гены. Чем больше разрывов – тем больше ошибок при их ликвидации – тем больше мутаций.

Кстати говоря, не стоит чрезмерно пугаться ультрафиолетового излучения. Оно сильно поглощается тканями и потому у многоклеточных организмов, к которым мы с вами относимся, способно вызывать мутации только в поверхностно расположенных клетках. Для того, чтобы защитить себя от вредного ультрафиолетового излучения, будет достаточно головного убора и легкой тонкой одежды.

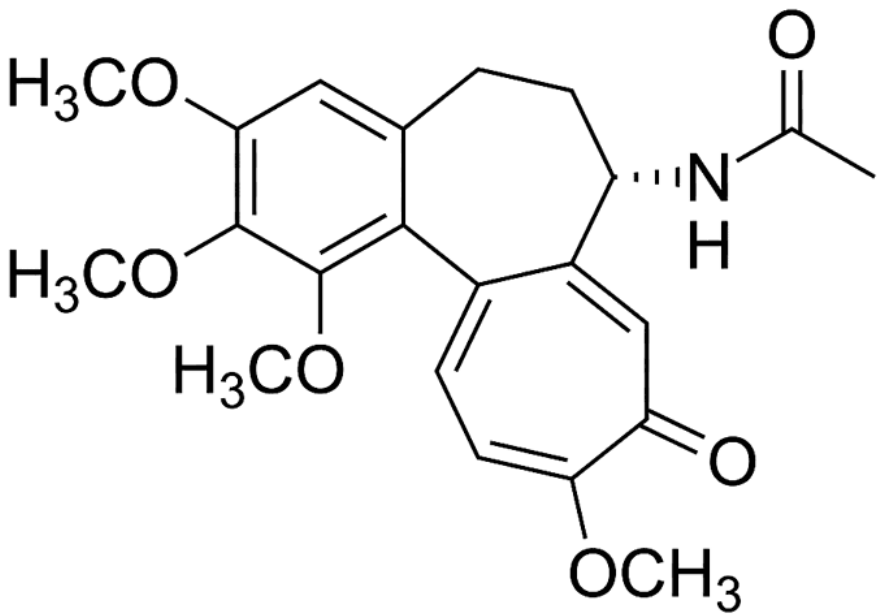
Высокие или низкие температуры также могут вызывать мутации, но в отличие от ионизирующего излучения, мутагенное действие температур избирательно. Так, например, у ржи или пшеницы температуры никаких мутаций не вызывают, а вот у мушек-дрозофил повышение температуры окружающей среды на 10 ˚С увеличивает частоту мутаций в три раза. На человека и

вообще на всех млекопитающих температуры мутагенного действия не оказывают. Считается, что температурные колебания действуют на молекулы ДНК не прямо, а опосредованно, вызывая биохимические изменения в окружающей их среде.

Химических мутагенов существует великое множество. Счет им идет на тысячи. У всех химических мутагенов есть одно общее свойство – это активные вещества, охотно вступающие в реакцию с другими веществами. Неактивное вещество не вызовет разрыва молекулы ДНК и ничего от нее не отщепит, то есть – не вызовет необходимости «починки» молекулы, а также не сможет нарушить нормальное течение какого-то клеточного процесса.

Давайте рассмотрим действие колхицина, одного из самых известных химических мутагенов.

Колхицин представляет собой азотсодержащее органическое вещество природного происхождения, обладающее свойствами слабого основания.



Структурная формула колхицина

Колхицин способен связываться с белком тубулином из которого состоят микротрубочки, клеточные органеллы, принимающие активное участие в процессе деления. Вспомните, что во время деления клеток из микротрубочек формируются нити, которые протягиваются от центриолей к ядру. Эти нити растаскивают хромосомы по дочерним клеткам так, чтобы каждая из них получила бы одинаковый набор хромосом.

В больших дозах колхицин полностью блокирует процесс клеточного деления, а в малых – нарушает процесс равномерного распределения хромосом между дочерними клетками в результате чего образуются клетки с удвоенным количеством хромосом. Селекционеры, работающие с некоторыми видами растений (например – с орхидеями), используют колхицин для получения особей с бóльшим количеством хромосом.

Химические мутагены подразделяются на мутагены прямого действия, у которых достаточно сил (химики называют силу вещества «реакционной способностью») для повреждения молекул ДНК, РНК и клеточных белков, а также на мутагены непрямого действия, которые сами по себе мутагенного действия оказывать не способны, но превращаются в мутагены после поступления в организм.

Как происходит подобное превращение?

Да очень просто – мутагены непрямого действия вступают в химическую реакцию с каким-нибудь веществом, имеющимся в организме, и в результате образуют вещество мутагенными свойствами.

У подавляющего большинства мутагенных факторов мутагенность сочетается с канцерогенностью. Иными словами, почти все, что вызывает мутации, способно вызывать онкологические заболевания. Это закономерно, ведь способность к неукротимому (неконтролируемому) делению, которая лежит в основе всех онкологических процессов, нормальные соматические клетки приобретают в результате мутаций.

А как по-вашему – есть ли разница между мутациями, вызываемыми физическими факторами и мутациями, вызываемыми химическими факторами?

Никакой разницы нет. Мутация есть мутация. Как говорится – что в лоб, что по лбу.

К биологическим мутагенам относят некоторые белки и продукты окисления жиров, а также некоторые вирусы, например – вирусы кори и краснухи. Мутагенным фактором вирусов являются их нуклеиновые кислоты – ДНК или РНК. Именно мутагенное действие обуславливает канцерогенный эффект вирусов (не всех, а только лишь немногих).

Известно ли вам, что существуют прыгающие гены?

Нет, это не шутка – такие гены действительно существуют. По-научному они называются транспозонами. По самым нескромным оценкам транспозоны составляют около половины человеческой ДНК, а по скромным – примерно треть. Транспозоны обладают способностью менять свою локализацию, то есть они способны перепрыгивать с одного места в молекуле

ДНК на другое.

Эти «попрыгунчики» делятся на два типа в зависимости от механизма прыжка. Одни транспозоны вырезаются из одного места и врезаются в другое («вырезать и вставить»), а другие создают РНК-матрицу для самокопирования («копировать и вставить»). Пока транспозоны «скачут» по тем участкам молекул ДНК, которые не кодируют синтез белка, они не вызывают мутаций. Но вставка транспозона в ген вызовет мутацию.

Зачем нужны прыгающие гены ученые еще не установили. Гипотез существует множество, одна другой интереснее. Есть мнение, что транспозоны помогают клетке отрабатывать механизмы для борьбы с вирусами, которые ведут себя схожим образом – встраивают свою нуклеиновую кислоту в молекулу клеточной ДНК. Клетки вырабатывают особые небольшие молекулы РНК,[85] которые подавляют активность транспозонов, и таким образом «тренируются» для борьбы с вирусами.

Согласно другой гипотезе, прыгающие гены нужны для уничтожения РНК-матриц, доставшихся эмбриону от матери. На ранних этапах развития эмбриона, когда его собственные гены еще не включились в работу, белки синтезируются на РНК-матрицах, считанных заранее с генов матери. Но в определенный момент, когда эмбрион начинает производить свои матрицы, материнские матрицы должны быть уничтожены, иначе начнется крайне нежелательная путаница в синтезе белков.

Некоторые ученые «зрят в корень» – считают, что прыгающие гены нужны для создания мутаций. Ведь чем больше мутаций, тем выше вероятность получения полезных приспособительных признаков.

Не стоит думать, что мутации происходят только под действием мутагенных факторов. Ошибки в репликации ДНК происходят и «сами по себе», без действия каких-то внешних факторов и без участия прыгающих генов. Разумеется, при действии мутагенов частота возникновения подобных ошибок возрастает, но не стоит думать, что в отсутствие мутагенов мутаций не будет совсем.

Не так давно ученым удалось выяснить, что большинство мутагенов взаимодействует со строго определенными фрагментами молекулы ДНК. Более того, в ряде случаев удалось установить конкретное азотистое основание, на которое действует конкретный мутаген – аденин, тимин, гуанин или цитозин. Недалек тот день, когда генетики смогут вызывать строго направленные, «прицельные» мутации – вносить заранее спланированное изменение в конкретный фрагмент ДНК.

«Не нужны нам эти прицельные мутации! – строго скажут

сейчас убежденные противники продуктов питания, полученные из генетически модифицированных организмов. – Жили тысячи лет без них – и еще проживем!».

Да – жили, как жили без электричества и без автомобилей.

Но давайте вникнем в суть вопроса.

Начнем с того, для чего в сельском хозяйстве изменяют генотип растений и животных?

Для того, чтобы получить быстрый рост, лучший вкус и высокую устойчивость к неблагоприятным факторам внешней среды, например – к холодам или к вредителям. Пересаживают кукурузе ген, взятый у лосося (условно), и кукуруза начинает расти в два раза быстрее. Или пересаживают капусте ген от подснежника и капусте становятся нипочем майские заморозки. Что в этом плохого? То, что продукты питания в результате таких «манипуляций» будут стоить дешевле?

В общественном сознании употребление генетически модифицированных продуктов настолько же опасно, как и действие ионизирующего излучения, которое вызывает мутации. Но на самом деле употребление в пищу генетически модифицированных организмов совершенно безопасно и никаких проблем вызвать не может. Мы постоянно занимаемся тем, что поглощаем чужую ДНК. Если можно съесть кусок лосося к которому в качестве гарнира прилагается вареная кукуруза, то что плохого в кукурузе, которой пересадили лососиный ген? Разве этот ген сможет «встроиться» в вашу ДНК? Нет, не сможет! Вся проглоченная ДНК в нашем пищеварительном тракте переваривается, расщепляется на мельчайшие составные части.

Под действием содержащейся желудочном соке соляной кислоты, разрушаются хромосомы, представляющие собой соединение ДНК с белками. Затем за высвобожденную ДНК, а также за РНК, принимаются ферменты, содержащиеся в секрете поджелудочной железы. Завершают процесс ферменты, вырабатываемые клетками слизистой оболочки кишечника. В кровь могут всасываться только нуклеозиды, состоящие из азотистого основания, связанного с сахаром, или же продукты расщепления этих нуклеозидов. Помните, мы говорили о том, что молекулы ДНК и РНК состоят из повторяющихся блоков, которые называются нуклеотидами. Так вот – нуклеозид еще меньше, чем нуклеотид, это нуклеотид от которого отщепили фосфатный остаток. Если сравнить нуклеотиды с кирпичиками, из которых выстраиваются молекулы ДНК и РНК, то нуклеозиды – это половинки кирпичиков. И еще надо учесть, что все многообразие ДНК и РНК на нашей планете составлено пятью разновидностями нуклеотидов и таким же количеством нуклеозидов.[86]

Нуклеиновые кислоты любого продукта питания, вне зависимости от того, оказывалось воздействие на его геном или нет, при переваривании дадут набор из пяти мономерных остатков. Нашему организму совершенно безразлично какие нуклеиновые кислоты переваривать.

Генетически модифицированные продукты более конкурентоспособны на рынке за счет низкой цены и хорошего качества. Да-да, и качества тоже, ведь одной из целей генетического модифицирования является повышение потребительских свойств продукта. Но генетическая модификация – дело дорогое и оплачивать услуги генных инженеров могут только крупные производители. Да и окупаются эти затраты только на больших объемах. Мелкие хозяйства не могут конкурировать с крупными структурами напрямую, снижая цены и повышая качество продукции. Но зато они могут постоянно говорить о мнимом вреде генетически модифицированных продуктов и противопоставлять недорогой генетически модифицированной продукции свою, более дорогую, но зато якобы «полезную». «Полезная продукция от мелкого фермерского хозяйства» нынче в тренде.

Но в конечном итоге из любых съеденных нуклеиновых кислот получается набор из пяти разновидностей мономеров. Только так и никак иначе.

Глава четырнадцатая. Генетика пола и сцепленное с полом наследование

С научной точки зрения полом называется совокупность признаков и свойств организма, обеспечивающая его участие в воспроизводстве потомства и передаче наследственной информации за счет образования половых клеток. В животном мире, к которому мы с вами имеем честь принадлежать, преобладает раздельнополость особей – существуют самцы и самки, два типа организмов, четко различающихся в половом отношении. Причем эти различия касаются не только половых органов, а всего организма в целом. Самцы и самки различаются по конституции (внешнему виду), по обмену веществ, по поведению и т. п.

В растительном мире напротив, преобладает гермафродитизм – одновременное или последовательное наличие у организма мужских и женских половых признаков, а также мужских и женских репродуктивных органов. Среди животных гермафродитизм в норме встречается редко, например – у некоторых видов червей, моллюсков, ракообразных.

В природе существует три основных механизма определения пола у потомков (да, представьте, целых три!).

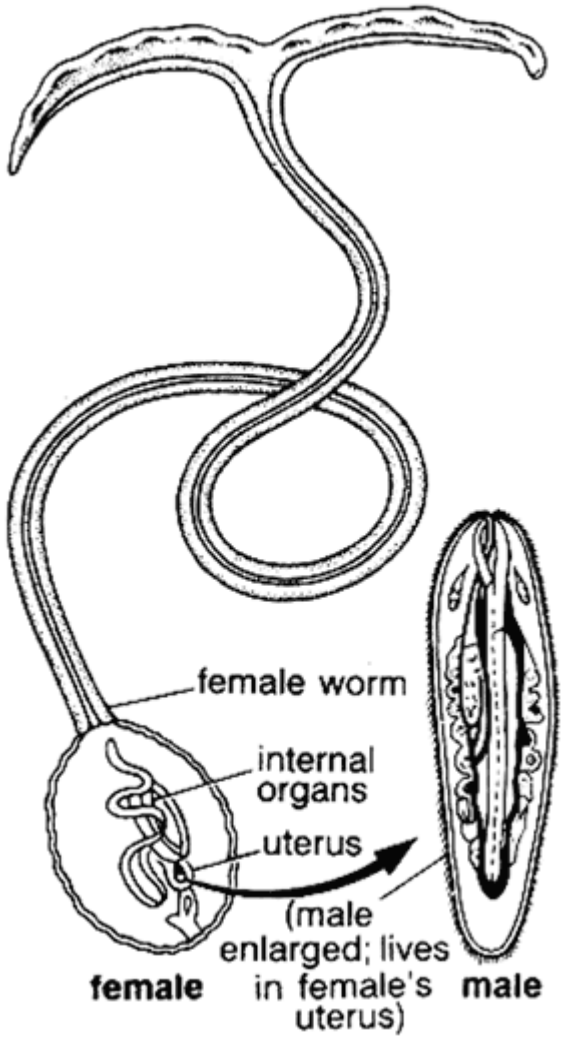
Первый вариант – определение пола до оплодотворения, то есть без какой-либо связи с оплодотворением наблюдается у тлей, некоторых кольчатых червей рода и ряда других организмов. В процессе созревания яйцеклеток в результате неравномерного распределения цитоплазмы образуется два типа яйцеклеток – крупные, из которых после оплодотворения развиваются самки, и мелкие, из которых развиваются самцы. Половых хромосом у этих видов нет. Пол определяется числом гаплоидных наборов хромосом. У самок хромосом больше, чем у самцов.

Второй вариант, получивший наибольшее распространение в природе – это определение пола в момент слияния женских и мужских половых клеток в зависимости от сочетания половых хромосом. Так происходит у человека, а также у млекопитающих, птиц, рыб и вообще у большинства животных.

Третий вариант, при котором определение пола происходит после оплодотворения в зависимости от каких-то дополнительных условий, наблюдается очень редко. Примером могут служить некоторые черепахи, все крокодилы и яйцекладущие хамелеоны, не имеющие половых хромосом. Пол их потомства определяется температурой внешней среды, в

которой находятся яйца. Это явление, получившее название температурно-зависимой детерминация пола представляет собой эволюционное достижение, регулирующее соотношение полов в популяции или же во всем виде в целом. Из кладок молодых самок, роющих неглубокие гнезда, которые в жарком климате являются более теплыми, будут преимущественно появляться детеныши одного пола, а из кладок взрослых самок, роющих более глубокие, более холодные гнезда – другого.

Очень интересный, можно сказать – уникальный тип определения пола наблюдается у морских беспозвоночных рода бонеллии из класса многощетинковых червей. Пол бонеллий определяется на ранней стадии индивидуального развития особи. Самцы бонеллий очень малы, длина их тела составляет от 1 до 3 мм. Они ведут паразитарный образ жизни – паразитируют на самках, которые вырастают до 15 сантиметров в длину. Получается, что если в своем развитии особь «застывает» близко к личинке, она становится самцом, а если растет дальше, то превращается в самку.

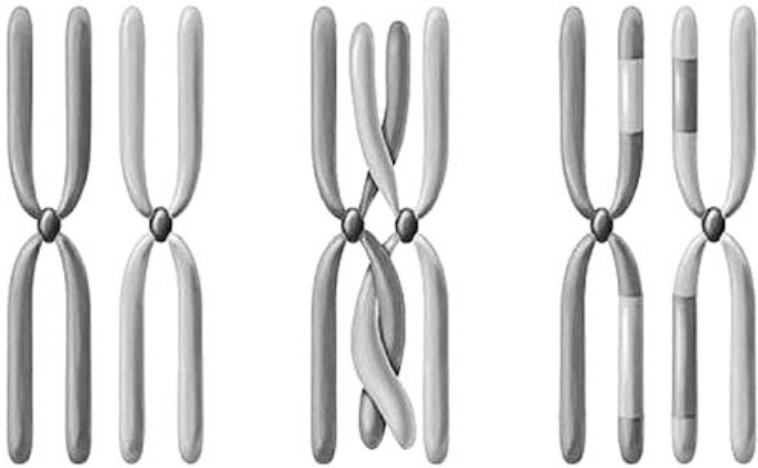


Самец и самка морского червя *Bonellia viridis*

Рассмотрим подробно наш «родной» второй тип.

По размеру и содержанию генетической информации различают женские и мужские половые хромосомы. Женские называют Х-хромосомами, а мужские Y-хромосомами из-за некоторого внешнего сходства их с этими буквами. В каждой соматической клетке человека находится две половые хромосомы, а в каждой половой клетке – по одной.

Кроссинговер: еще один механизм рекомбинации генов



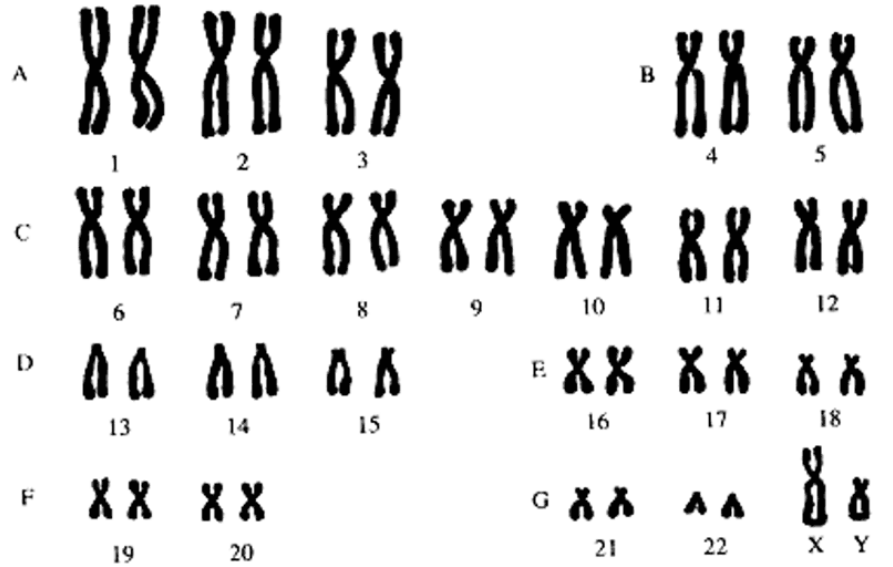
В ходе кроссинговера парные хромосомы обмениваются одинаковыми участками генов, чтобы увеличить генетическое разнообразие потомства

Женская и мужская хромосомы

В результате оплодотворения в зиготе возникнуть два варианта сочетания половых хромосом – XX (женский) либо XY (мужской).

В женском организме образуются только половые клетки с X-хромосомой, а в мужском – и с X, и с Y. Таким образом пол ребенка зависит от отца, от того, какая именно половая хромосома из отцовского набора попадет в яйцеклетку, которая всегда содержит X-хромосому.[87]

«В каких случаях может возникнуть комбинация из двух Y-хромосом?», любят спрашивать коварнейшие из экзаменаторов. Разумеется – ни в каком, потому что один сперматозоид не может оплодотворить другой сперматозоид.



Мужской набор хромосом

Признаки, которые определяются генами, находящимися в половых хромосомах, называют сцепленными с полом, а их наследование – наследованием, сцепленным с полом.

Число генов в половых хромосомах сильно различается. Так, например, в Y-хромосоме человека содержится около 100 функциональных генов, а в X-хромосоме – более 1500.

Несмотря на то, что X– и Y-хромосомы различаются по форме и размерам, они имеют общие схожие или, как выражаются по-научному – гомологичные участки.

Схема гомологичных (1) и негомологичных (2 и 3) участков X– (слева) и Y-хромосом (справа).

Посмотрите на рисунок и оцените, какая часть в каждой из хромосом является гомологичной, а какая – нет.

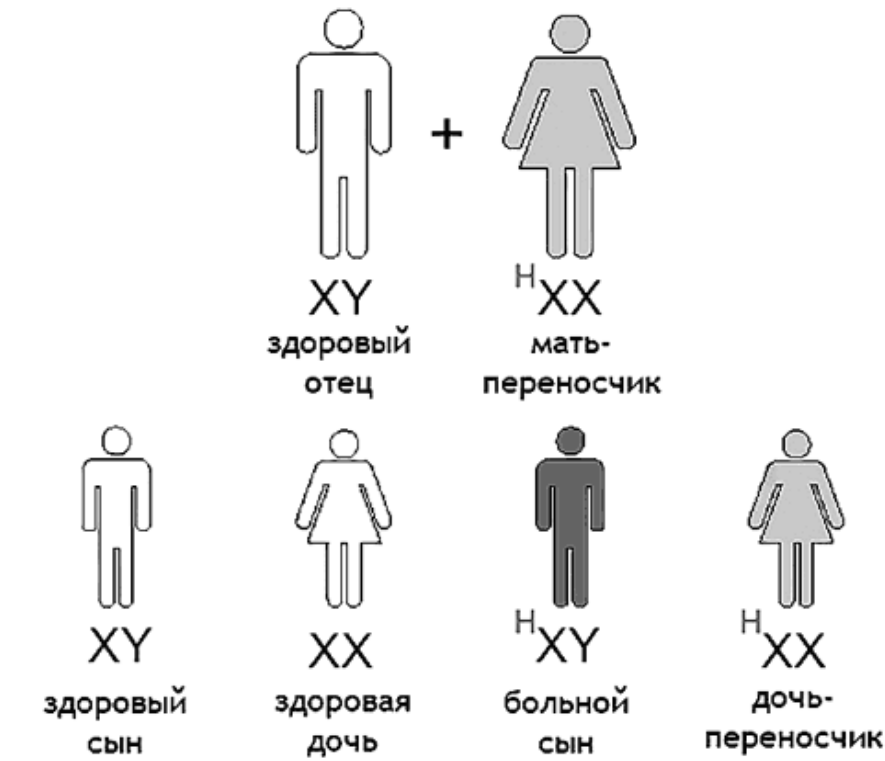
В гомологичных участках половых хромосом находятся гены, определяющие признаки, которые одинаково наследуются и у мужчин, и у женщин.

Признаки, развитие которых определяется генами, расположенными в негомологичных участках Y-хромосомы (например – волосатость ушей), всегда встречаются у мужчин и никогда не встречаются у женщин. В женском наборе половых хромосом XX гена с негомологичного участка Y-хромосомы быть не может.

С Х-хромосомой передаются такие наследственные заболевания человека, как, например, гемофилия – нарушение функции свертывания крови, и дальтонизм – неспособность различать некоторые цвета, преимущественно красный и зеленый.

Гены, вызывающие развитие гемофилии и дальтонизма находятся в негомологичном участке Х-хромосомы. У женщин каждый из этих генов подавляет парный ген, находящийся в другой Х-хромосоме и потому заболевания не развиваются. «Хороший» парный ген не позволяет своему «плохому» собрату творить злые дела. А у мужчин Х-хромосома всего одна и «плохой» ген в ее негомологичном участке подавлять-сдерживать некому. В результате развивается заболевание.

На схеме показан путь передачи гемофилии, аллель гена которой обозначена буквой Н.



Передача гемофилии потомству

Вероятность проявления гемофилии и дальтонизма, а также других наследственных заболеваний значительно возрастает в потомстве от близкородственных браков. Гемофилия и дальтонизм могут проявляться чаще из-за высокой частоты признака среди родственников (при условии, что он вообще

наличествует).

На схеме показано распространение гемофилии среди потомков английской королевы Виктории, бывшей носительницей гена гемофилии. В правящих семействах Европы близкородственные браки были широко распространены по двум причинам. С одной стороны, представителям королевских семей было зазорно родниться с теми, кто по положению стоял ниже их, это считалось утратой достоинства. С другой стороны, «королевские» браки широко использовались в политических целях для укрепления отношений между разными странами. Это привело к тому, что к XVIII веку все правящие семейства Европы состояли между собой в довольно близком родстве. Так, например, супруга последнего российского императора Николая Второго и Александра Федоровна одновременно приходилась своему мужу четвероюродной теткой по одной линии и троюродной сестрой по другой.

Сцепленное с полом наследование имеет большое значение для животноводства, в частности – для птицеводства. Пол «суточных», то есть – только что вылупившихся из яйца цыплят, на основании видимых различий в строении половых органов определить невозможно. Однако, производственные интересы требуют сделать это как можно раньше, поскольку от пола зависит рацион цыплят – петушков интенсивно откармливают «на убой», а курочек кормят более скромно, сугубо в рамках физиологических потребностей. Приходится птицеводам определять пол цыплят по окраске пера. Если знать особенности окраски родителей, то ошибки не будет. Схожим образом – по окраске, определяют пол при разведении тутового шелкопряда, «мужские» коконы которого дают на 30 % больше шелковой нити, чем женские.

Число половых хромосом может быть аномальным. Такое случается вследствие нерасхождения половых хромосом во время мейоза по разным клеткам. В результате образуются половые клетки, имеющие две (или более)[88] половые хромосомы.

Наличие лишней X-хромосомы у мальчиков (набор хромосом XXY) называется синдромом Клайнфельтера.[89] Набор хромосом XXY – это мужской набор, пол в данном случае определяет наличие Y-хромосомы, а не две X-хромосомы.

Для синдрома Клайнфельтера характерны следующие симптомы – высокий рост, развитие молочных желез по женскому типу, недоразвитие яичек и умственная отсталость разной степени выраженности. Грубо говоря, наличие лишней X-хромосомы подавляет развитие мужских признаков.

У девочек с одной X-хромосомой (такое бывает если нормальную яйцеклетку оплодотворит «пустой» сперматозоид, не имеющий ни X– ни Y-хромосомы) наблюдается отсутствие яичников, низкий рост, недоразвитие вторичных половых признаков. Нехватка X-хромосомы не позволяет полностью развиться женским признакам. Этот синдром называется синдромом Тернера.

Женщины с синдромом Тернера могут болеть гемофилией или же дальтонизмом, поскольку у них нет парной X-хромосомы, а, следовательно, нет «хорошего» доминантного гена, подавляющего «плохой» рецессивный ген.

Женщины могут иметь и три X-хромосомы. Можно сказать, что это наиболее благоприятный случай нарушения числа хромосом, который не вызывает никаких проявлений, за исключением небольшого отставания в умственном развитии. Нередко о наличии у них лишней X-хромосомы женщины узнают случайно, во время обследования по какой-то иной причине.

В середине прошлого века мужской набор с одной лишней Y-хромосомой (XYY) получил печальную и совершенно незаслуженную славу. Лишнюю Y-хромосому сочли «хромосомой преступности». Доходило до того, что предлагалось законодательно ввести обязательное прерывание беременности при диагностике генотипа XYY у плода. А преступники в разных странах пытались избежать наказания за содеянное на основании своего генотипа XYY – не мы, мол, виноваты, а лишняя хромосома, которая сделала нас агрессивными, склонными к насилию. И представьте себе – кое-кому на этом основании удавалось избежать наказания за содеянное.

Все началось с того, что ученые, изучавшие генотипы умственно отсталых заключенных в одном из тюремных госпиталей Великобритании, обнаружили у семерых из них одну лишнюю Y-хромосому. Всего в эксперименте участвовало сто девяносто шесть человек, так что семеро человек на этом фоне выглядели довольно внушительно – 3,6 %.

Для сравнения в исследование включили три с половиной тысячи новорожденных мужского пола. У пяти из них обнаружили лишнюю Y-хромосому. 5 от 3 500 составило 0,14 %.

0,14 % на воле и 3,6 % – в тюрьме. Разница почти в 26 раз! Причем, все семеро заключенных с лишней хромосомой были осуждены за тяжкие преступления – убийства, нанесение увечий, изнасилования. На основании полученных данных исследователи сделали вывод о том, что лишняя Y-хромосома делает мужчину агрессивным и назвали ее «геном агрессивности».

Вообще-то, по принятым в науке правилам, столь

решительные выводы нельзя было основывать на таком хлипком «фундаменте», как обследование около двух сотен заключенных в одной отдельно взятой тюрьме. Это нерепрезентативно.[90] Следовало обследовать, как минимум, одну тысячу заключенных, причем – в разных тюрьмах, значительно удаленных друг от друга, чтобы иметь основания для каких-либо предположений. Предположений, а не категоричных выводов, оцените разницу.

Но вывод был сделан и опубликован в научном журнале, где его увидели журналисты, далекие от генетики и вообще от науки. Они не стали задаваться вопросами «как да почему?» и «на каком основании?», а назвали Y-хромосому «хромосомой преступности» и подняли в прессе шум. Чуть ли не каждому жестокому убийце «приписывали» лишнюю Y-хромосому… Обыватели верили и ужасались.

Здравомыслящие генетики, когда к ним обращались за комментариями по поводу «хромосомы преступности», обращали внимание журналистов на то, что среди заключенных практически повсюду мужчины составляют большинство и задавали встречный вопрос – можно ли на этом основании называть мужской генотип XY «генотипом преступности»? Шутка – ложь, да в ней намек: поосторожнее надо быть с выводами, господа!

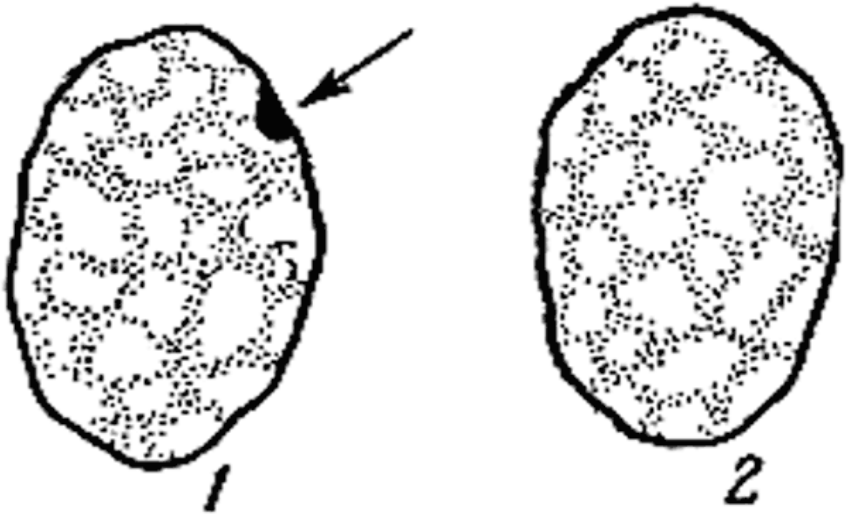
Лишняя X– или Y-хромосома создает проблемы. Но давайте сравним распределение половых хромосом у женщин и мужчин. XX и XY– вам ничего странного в глаза не бросается? Вы не видите, что у женщин есть одна «лишняя» X-хромосома? Давайте уж уберем кавычки, потому что они здесь не нужны. У женщин есть одна лишняя X-хромосома и они как-то живут с ней, причем – нормально развиваются и функционируют.

Как им это удается?

Если что, то это не абстрактно-философский и не шуточный вопрос.

Мужчины развиваются нормально с одной X-хромосомой, следовательно, вторая X-хромосома у женщин, по логике вещей, должна нарушать нормальное развитие.

Пытливые умы долгое время ломали головы над этой проблемой и наконец предположили, что вторая X-хромосома у женщин каким-то образом деактивируется, «выводится из игры» для того, чтобы не мешать нормальному развитию организма.



Тельце Барра или половой хроматин: А – клетка женщины (XX), Б – клетка мужчины (XXY)

В середине прошлого века способ деактивации был открыт. Оказалось, что одна из Х-хромосом в женских соматических клетках находится в свернутом виде. Такие хромосомные комочки называют половым хроматином или тельцами Барра. В мужских клетках телец Барра нет.

Кстати говоря, половых хромосом может быть и больше одной пары. Так, например, утконос имеет пять пар половых хромосом. Мужской пол у утконоса задается комбинацией XYXYXYXYXY, а женский XXXXXXXXXX.

Глава пятнадцатая. Половой отбор

Мутагенез, о котором говорилось в тринадцатой главе, можно сравнить с игрой в кости. Природа раз за разом делает броски, которые оказываются удачными или неудачными. Примечательно то, что броски делает природа, а выигрывают или проигрывают в этой игре живые организмы. Особь, получившая удачную приспособительную комбинацию, вырывается вперед – долго живет и оставляет большое потомство, а неудачная комбинация приводит к скорой гибели.

Впрочем, может случиться и так, что неудачное вдруг окажется удачным. Например, у одного пернатого самца в результате мутации появилась яркая окраска оперения, которая сделала его хорошо заметным для хищников. Признак явно неблагоприятный, уменьшающий шансы на выживание. Редко какое животное может позволить себе яркую окраску. Даже хищникам нужно маскироваться для того, чтобы незаметно подкрасться к жертве или же подстеречь ее в засаде. Посмотрите на льва, прозванного царем зверей за свой звучный голос (но не за суперсилу). Окраска льва желто-серая, «саванная» с различными оттенками. На фоне желтой земли его не сразу и заметишь. А у тигра, который физически сильнее льва и по праву сильного должен называться царем, ржаво-коричневая окраска «разбавлена» темными полосами, создающими отличный маскирующий эффект.

Но яркая окраска может оказаться привлекательной для самок, которые станут предпочитать этого самца остальным и в результате он оставит больше потомства. Получается своеобразный гамбит (если кто не в курсе, то так называется шахматный дебют, в котором одна сторона из стратегических соображений жертвует противнику пешку или легкую фигуру). Самец с яркой окраской рискует стать добычей хищника сильнее других самцов, но зато он оплодотворяет больше самок и оставляет больше потомства. Посмотрите на то, как распространена яркая окраска среди самцов разных видов птиц и вы поймете, что определенный эволюционный смысл в этих гамбитах есть.

Приведенный пример – это пример полового отбора, эволюционного процесса, который является разновидностью естественного отбора. Сущность полового отбора заключается в конкуренции за полового партнера между особями одного вида. Такая конкуренция приводит к избирательному или, как еще говорят, выборочному спариванию при котором одни партнеры

имеют преимущество перед другими. Признаки, делающие особь более конкурентоспособной, закрепляются половым отбором.

Важно понимать разницу между естественным и половым отбором. Естественный отбор происходит в процессе борьбы за существование и затрагивает всех особей в популяции, независимо от их пола. А половой отбор происходит в процессе борьбы между особями одного пола за возможность спаривания с особями другого пола. В результате естественного отбора гибнут неприспособленные и выживают приспособленные, в результате полового отбора никто не гибнет, просто одни самцы оставляют больше потомства, чем другие.

В ряде случаев естественный и половой отбор действуют в одном и том же направлении. Так, например, хорошая физическая форма самца является преимуществом с точки зрения обоих разновидностей отбора. А вот яркая демаскирующая окраска или же длинный хвост, который затрудняет движение – это явный недостаток, но он может почему-то оказаться привлекательным для самок и станет преимуществом с точки зрения полового отбора.

Почему в подавляющем большинстве случаев, у большинства биологических видов, самцы конкурируют за самок, а не наоборот?

Причина проста – на производство спермы затрачивается гораздо меньше времени и ресурсов, чем на производство яйцеклеток и вынашивание потомства или высиживание яиц. Пока яйцеклетка созреет, да пока самка будет вынашивать потомство, самец успеет спариться с множеством других самок. Самки представляют собой ограниченный ресурс, а за обладание ограниченными ресурсами всегда идет конкуренция.

Можно посмотреть на проблему и с другой стороны – самка, которой предстоит заботиться о потомстве, предъявляет к самцу, участие которого в процессе размножения очень часто заканчивается на оплодотворении, гораздо больше требований, чем самец предъявляет к ней. Старания самки по вынашиванию и выращиванию потомства должны оправдаться, поэтому ей далеко не безразлично, кто станет отцом ее детей. Самцу же… Ну, вы понимаете.

А там, где самки конкурируют за самцов, самцы проявляют основную заботу о потомстве. Так, например, у желтолобой яканы, небольшой птички, обитающей в Северной Америке, самки конкурируют друг с другом за территорию, а самцы, выбирающие самок, строят гнезда, высиживают снесенные самкой яйца и заботятся о потомстве. Право выбора есть у самцов, но их в популяции всегда меньше, чем готовых к спариванию самок,

поэтому у каждой самки яканы бывает по нескольку «мужей» (обычно 4).

Конкуренция за возможность оплодотворения самки может быть двоякой.

В первом случае самец добывает право на обладание самкой в борьбе с другими самцами. У видов, практикующих такую разновидность конкуренции, самцы будут гораздо крупнее самок. Так, например, самцы гориллы могут вырастать до двух метров и весить более 150 килограмм, а самки гораздо субтильнее и рост их не превышает полутора метров. Образ жизни у горилл гаремный – они держатся небольшими группами, состоящими из самца-вожака, нескольких самок и их детенышей. Самцу нужно несколько самок, потому что охота к спариванию у него есть постоянно, но беременные или кормящие самки его не привлекают. Что делают самцы горилл, у которых нет гарема? Они только и ищут возможности завладеть чужими самками, поэтому счастливому владельцу гарема нужно всегда быть начеку. «Холостые» самцы могут нападать на «женатых» не поодиночке, а целой группой, так что сохранить свой гарем (и оставить потомство) может только физически крепкий и ловкий самец. О силе и ловкости самцов горилл может свидетельствовать хотя бы то, что леопарды (леопарды!) с ними предпочитают не связываться. Горилле не составит труда сделать с леопардом то, что библейский Самсон сделал со львом, сил на это хватит.

При гаремном образе жизни конкуренция за самок особенно обостряется. Ресурс и без того ограниченный, да вдобавок счастливчики берут себе сразу помногу. Потому половой отбор изо всех сил старался сделать самцов горилл огромными «машинами для убийства». Не следует путать причину и следствие. Не подумайте, что огромные самцы горилл выбрали такой способ конкуренции за самок вследствие своей физической мощи. Это битвы за самок сделали их такими. Из поколения в поколение больше потомства оставляли более крупные, более сильные, более агрессивные самцы. В этом случае естественный отбор шел рука об руку с половым. И смотрите что произошло. Когда-то предки горилл жили на деревьях, на это недвусмысленно указывает их анатомическое строение (в первую очередь – длинные руки). Но сейчас гориллы ведут наземный образ жизни, и только спят на ветвях, потому что там безопаснее, чем на земле. Но почивать на ветвях могут только самки с детенышами, взрослым самцам приходится спать на земле, поскольку редко какие ветви могут выдержать тушу, весом в полтора центнера или выше.

Анатомические и поведенческие различия между самцами и

самками одного и того же биологического вида называются половым диморфизмом. У горилл, шимпанзе, львов и многих других животных половой диморфизм выражен резко, а вот у человека – не очень.

А вот у павлинов все происходит иначе, демократично и без брутальности. Самцы павлина не дерутся друг с другом за самку, а устраивают соревнование по ее соблазнению – распускают свои великолепные «хвосты»[91] и издают призывные звуки. Кто самке больше понравится, с тем она и станет спариваться.

При таком раскладе половой отбор может закреплять признаки, который естественный отбор сразу бы вырвал с корнем – пышные длинные хвосты, способность к громкому пению, яркую окраску и т. п. Самцы-соблазнители, в большинстве своем, не сильно превосходят самок размерами, но заметно отличаются от них по внешнему виду, а зачастую и по «вокальным» способностям.

К павлинам мы вскоре вернемся, а пока что давайте вспомним про опубликованный в 1871 году труд Чарльза Дарвина «Происхождение человека и половой отбор»,[92] где была подробно изложена концепция полового отбора. Половому отбору Дарвин уделил внимание (целую главу) еще в «Происхождении видов», но эта важная тема заслуживала отдельного труда, к слову будь сказано – весьма объемного. «Эта форма отбора определяется не борьбой за существование в отношениях органических существ между собою или с внешними условиями, – писал Дарвин, но соперничеством между особями одного пола, обычно самцами, за обладание особями другого пола».

Очень легко понять, как ваш собеседник или автор какой-то работы относится к концепции полового отбора. Те, кто признает половой отбор как часть естественного отбора, говорят: «Дарвин открыл существование полового отбора». Те же, кто отрицает половой отбор, вместо «открыл» говорят «выдумал». Надо сказать, что в наше время мало кто из ученых отрицает существование полового отбора, тема эта давно осмыслена и принята научным сообществом. А вот во второй половине XIX века концепция полового отбора была отвергнута учеными. Они еще могли согласиться с тем, что самцы могут конкурировать за самок и что с этим может быть связано развитие определенных «признаков силы» (например – оленьих рогов), но в возможность того, что самки могут активно выбирать самцов, никто не верил и даже не собирался вникать в тему. Почему? Да потому что подобная мысль противоречила канону викторианской эпохи, согласно которому выбор был привилегией самцов, то есть мужчин. И если вам кажется странной такая проекция социально-политических

взглядов на науку, то знайте, что подобное случается не так уж и редко. Достаточно вспомнить, как в Советском Союзе шельмовали «буржуазную» генетику, полностью отрицая ее научную сущность.

Слабым местом дарвиновской концепции полового отбора было отсутствие объяснения пристрастия самок к тем или иным качествам самцов. Все заканчивалось на предположении о изначальном наличии у животных неких эстетических предпочтений, «чувства прекрасного». Как выразился один из критиков Дарвина: «Если допустить наличия чувства прекрасного у птиц, то можно дойти и до говорящих собак». Фраза претендует на остроумие, но с научной точки зрения является абсолютно бредовой. Как говорится – где имение и где наводнение? Как связаны говорящие собаки с самками павлина, которым нравятся длинные хвосты.

Если вам лично тоже не очень-то верится в наличие права выбора у самок некоторых биологических видов, то попробуйте объяснить наличие длинного «хвоста» у самцов павлина исключительно с точки зрения естественного отбора. Можно смело ставить тысячу против рубля на то, что у вас ничего не получится.

Если уж честно, то такую длину перьев надхвостья (давайте уж выражаться по-научному), которая превышает длину тела павлина, трудновато объяснить даже с позиций полового отбора.

Надо уточнить, что столь длинные перья достались павлину от природы, а не по желанию человека, то есть это не результат селекции. Да, разумеется, определенная селекция среди одомашенных павлинов проводится, и самцов с особо пышными «хвостами» могут скрещивать с самками чаще, но такой отличительный и крайне неудобный признак имелся у самцов павлина еще до одомашивания этого вида.

И это при том, что на воле у павлинов куча врагов, желающих полакомиться этой вкусной птицей. Родиной павлинов считается полуостров Индостан, а там уж, как говорится, хищник на хищнике сидит и хищником погоняет.

Почему на каком-то этапе естественный обор не вмешался и не одернул разошедшийся половой отбор? И способен ли вообще естественный отбор вмешиваться в дела полового отбора?

Способен! Для естественного отбора, чтобы вы знали, не существует ни запретных зон, ни запретных тем, ни каких-либо ограничений. Выгодные признаки закрепляются, а невыгодные отторгаются, приспособленные выживают, а неприспособленные гибнут. И если половой отбор «раздует» какой-то привлекательный в глазах противоположного пола признак до невероятных размеров, не позволяющих его обладателю оставить

потомство, то вы понимаете, что с этим признаком станется. Он исчезнет, потому что не будет передан последующим поколениям.

Баланс! Все дело в балансе между привлекательностью и выживаемостью. Если «неудобный, но привлекательный» признак позволяет достичь половозрелого возраста и оставить потомство, то он имеет право на существование.

Кстати говоря, свойственный людям редкий волосяной покров, Дарвин считал результатом полового отбора. Не исключено, что так оно и есть. Но можно предположить и другое. Шерстяной покров мог быть «ликвидирован» естественным отбором после выхода наших предков из субэкваториального леса в саванну. Плотность деревьев в экваториальных, субэкваториальных и тропических лесах очень высока и потому солнечные лучи до поверхности земли не доходят, отчего в таких лесах круглосуточно сохраняется примерно одинаковая температура воздуха. В целом в лесах прохладно (относительно прохладно) и шерстяной покров здесь вполне к месту. А вот на открытых участках, например – в саванне, днем очень жарко, а ночью довольно прохладно, поскольку ничто не препятствует отдаче тепла в атмосферу. Вот и пришлось нашим древним предкам избавляться от шерстяного покрова, который днем приводил к перегреву организма, особенно при активных физических действиях. В конечном итоге у человека выработалась эффективная и удобная система терморегуляции посредством испарения пота, а густой волосяной покров остался только на голове в качестве «шапочки», защищающей от солнечного излучения.

А вот развитию таких уникальных особенностей нашей психической деятельности, как доброта, интеллект, эмпатия, творческие таланты, остроумие и т. п., половой отбор способствовал вне всяческого сомнения. Если эти черты могут вызывать у нас любовь к их обладателям, то на их развитие определенно влиял половой отбор! И симметричные лица сделал для нас красивыми половой отбор. Дело в том, что многие вредные мутации приводят к нарушению симметрии.

Но давайте вернемся к нашим птичкам.

Почему самкам павлина нравятся огромные яркие «хвосты» самцов, а самкам глухаря – громкие песни, слышные хищникам за километр? Почему практически все привлекательные признаки являются неудобными и невыгодными с точки зрения естественного отбора? Почему самкам павлина не мог понравиться маленький аккуратный хвост, а самкам глухаря – тихое пение самца? Ладно, пение брать в пример не будем,

поскольку с его помощью самец оповещает всех самок в округе о своей готовности к совокуплению. Давайте лучше возьмем яркую окраску оперения. Вот что бы самкам не полюбить «сереньких» самцов? Сговорились они все, что ли, вредины этакие?

Нет, не сговорились. И не вредины они, это жизнь сделала их такими.

Предупреждение! Мы сейчас встаем на шаткий мостик версий и все то, о чем дальше будет сказано в этой главе, следует рассматривать как предположения, только предположения и ничего, кроме предположений.

Известно ли вам, что называют гандикапом в спорте?

Гандикап – преимущество, предоставляемое отдельным участникам многоэтапных спортивных соревнований, которые были лидерами на предыдущих этапах. Тот, кто на предыдущем этапе финишировал первым, на следующем этапе первым выходит на дистанцию. Таким образом на новых этапах сохраняется преимущество, достигнутое ранее. В более широком смысле, гандикапом называют любую фору. Когда сильный игрок перед началом шахматной партии убирает с доски своего ферзя – это тоже можно считать гандикапом.

Не удивляйтесь тому, что с полового отбора мы вдруг перескочили на спорт. Дело в том, что одна из гипотез, объясняющих наличие невыгодных для выживания (можно сказать – обременительных) половых признаков, называется теорией или концепцией гандикапа.

Если у самки есть выбор, то она будет выбирать для скрещивания самого здорового самца. Это не какая-то установка, данная самке свыше, а результат действия естественного отбора. Потомство самок, которые не придают должного значения выбору правильного партнера, проигрывает в конкурентной борьбе. Громкий голос или длинный хвост могут служить подтверждением хорошего здоровья их обладателя, свидетельством качества его генов.

Если признак нравится самкам, то он будет развиваться. Когда-то и перья у павлинов были короче, и окраска у многих самцов пернатых была тусклее, и глухари не вопили на всю округу о своем тягостном одиночестве… Но если самцы с данным признаком получают преимущество в спаривании, то признак закрепляется и развивается. Развивается, развивается и доразвивается до каких-то невероятных пределов.[93] Так относительно крупный хвост стал полутораметровым шлейфом… И так далее. Но знаете, что самое интересное?

Усиливаясь до абсурда, признак повышает свое значение. Так утверждает концепция гандикапа.

Согласно этой концепции, все невыгодные для выживания признаки служат подтверждением хорошего здоровья их обладателей. И чем признак обременительнее, тем выше его «стоимость». Распуская свой хвост, самец павлина словно говорит самке: «посмотри, какой я сильный, раз могу жить с таким хвостом». Точнее, не жить, а выживать. Глядя на яркое оперение самца, самка инстинктивно осознает что перед ней качественный производитель. Если такой заметный индивидуум смог дожить до спаривания, значит он быстро летает, имеет чуткий слух и все прочее, что нужно для выживания.

Обременительный признак – это фора, посредством которой самец доказывает хорошее состояние своего здоровья. Самки не просто так считают красивыми «невыгодные» признаки, их пристрастия основаны на голом расчете, а никакого «чувства прекрасного» у них не было и быть не может… Поэты могут сколько угодно твердить о том, что любовь несовместима с корыстью, но мы-то знаем, что самыми прочными оказываются браки по расчету.

Там, где самцам приходится драться за самку, «неудобные» признаки закрепиться не смогут, потому что ставка делается только на силу и ловкость. Тот, кто всем накостылял или тот, кто всех распугал, завладевает самкой, у которой нет права выбора. Самец доказывает свое превосходство не ей, а другим самцам. Поэтому вектор полового отбора направлен на физическое развитие и повышение агрессивности. А вот павлинам или глухарям приходится искать другие способы подтвердить свою «качественность». Крупный размер – это, разумеется, хорошо, но вектор полового отбора направлен иначе, в сторону гандикапов.

Гандикапы, как вы, наверное, уже догадались, преимущественно распространены у видов, обладающих высокой репродуктивностью (например – у пернатых или же у рыб). Долго с «отягощающим» признаком не протянет даже сильный самец, да забота самцов о потомстве с гандикапом сочетается плохо. Обладатели гандикапов живут по принципу: «главное – совокупиться, а там хоть трава не расти». Там, где цена выживаемости вида слишком высока, никаких гандикапов не будет, потому что естественный отбор их не пропустит. Принимая во внимание обилие хищников на полуострове Индостан, надо учитывать и обилие пищи для них, большое количество животных, выступающих в роли жертв. На таком фоне павлины могут позволить себе такую «роскошь», как длинный шлейф.

Теперь давайте посмотрим на теорию гандикапа глазами генетиков.

Гандикапный ген, то есть ген, определяющий наличие у

самца того или иного «обременяющего» признака, распространяется в популяции, потому что самки предпочитают самцов с «гандикапами». А чем, по-вашему, определяется пристрастие самок гандикапам? Тоже генами. В процессе эволюции выжили те виды, самки которых выбирали самцов с гандикапами. Выбирали неосознанно, инстинктивно, подчиняясь природному зову, а не голосу разума, которого у животных нет. Когда смотришь на невероятно широкое распространение гандикапов в живой природе, поневоле начинаешь думать, что они являются результатом чьей-то целенаправленной деятельности. Но эволюция, как известно, не имеет программы и целей. При каждом броске костей выпадает случайная комбинация…

Теория гандикапа – не единственная в своем роде. Надо сказать, что противников у нее не меньше, чем сторонников. Противники отрицают гандикапное значение обременительных признаков. Они считают их следствием вредных мутаций, с которыми естественный отбор сумел примириться, поскольку они, при всей своей невыгодности, позволяют самцам оставлять потомство. Наиболее прямолинейные оппоненты любят спрашивать у гандикапистов почему в природе нет одноглазых или бескрылых павлинов, ведь это был бы всем гандикапам гандикап. Но это – некорректный вопрос. Над «шалостями» полового отбора висит дамоклов меч отбора естественного и если признак выходит за рамки допустимого, то он «отрубается». С длинным хвостом павлин может дожить до размножения, а вот с одним глазом или же без крыльев – нет.

Все хорошее подделывается, не так ли? Гандикапы – не исключение. Если демонстрация привлекательного признака не требует исключительных способностей – хорошего здоровья и большой силы, то в результате мутаций могут появляться самцы-обманщики, хилые, но с признаком. Если «обманщиков» разведется много, отбор перестанет благоприятствовать самкам, выбирающим самцов по этому признаку. Признак исчезнет, «растворится» в потоке эволюционного развития. Так что хороший гандикап обязан быть надежным. Если в роли гандикапа выступает хвост, то это должен быть такой хвост, который могут носить только богатыри. Если окраска яркая, то она должна бросаться в глаза издалека.[94]

Согласно гипотезе убегания, предложенной в начале XX века британским биологом-эволюционистом Рональдом Фишером, обременительные половые признаки не свидетельствуют о хорошем здоровье и хороших генах их обладателей, а являются результатом случайно возникшего пристрастия самок к такому

признаку. Никакой «бессознательной корысти» в действиях самок нет, есть просто прихоть, вызванная определенной мутацией. Практического значения гандикапы не имеют. Примерно то же самое имел в виду Чарльз Дарвин, когда говорил о «чувстве прекрасного», но Дарвин не смог объяснить механизм такого полового отбора, а Фишеру это удалось.

Допустим, что в популяции появился ген, побуждающий самок выбирать для спаривания самцов с определенным признаком, например – с длинным хвостом.

Половину генов дети получают от отца, а половину от матери, верно?

Самки, падкие на длинные хвосты, будут передавать это качество своим дочерям ровно с таким же успехом, с каким отцы будут передавать длинные хвосты сыновьям.

Фишер рассматривает развитие обременительного полового признака с двух сторон – развивается не только признак у самцов, но и расположение к нему у самок. Практицизма – ноль, все сугубо случайно, два половых признака, скованные одной цепью, развиваются синхронно.

Осознайте разницу между гандикапистами и фишеровцами. Гандикаписты пытаются найти практический смысл в обременительных признаках, а фишеровцы его отрицают.

Критики гипотезы Фишера, которая официально называется «фишеровским убеганием», любят напирать на то, что предпочтение бесполезного признака не может распространиться среди самок настолько, чтобы иметь эволюционное значение. Ведь изначально этот признак (предпочтение) никакого приспособительного значения не имеет, никакого преимущества своим обладательницам не дает, и потому естественным отбором закреплен не будет.

Да – не имеет и не дает, но при этом и никакого вреда тоже не наносит, так что отторгать его естественный отбор не станет. Но у любого признака есть шанс «возвыситься», то есть достичь некоторой значимой частоты в популяции. Каким образом? Да за счет дрейфа генов!

Дрейфом генов называют случайные изменения частот аллелей (частот генов) в популяции.

Вспомните, что слово «дрейф» означает медленное постоянное перемещение чего-либо под действием сторонних сил. Ключевые слова «постоянное» и «сторонних».

Частота аллелей или частота генов – это соотношение разных аллелей одного и того же гена в популяции. Аллели определяют проявление одного и того же признака в различных формах. Частота аллеля показывает частоту вероятность проявления

конкретного признака в популяции.

Частоту аллеля высчитывают делением количества данных аллелей у всех особей данной популяции на общее количество аллелей в популяции и выражают в процентах.

Допустим, что в некой популяции численностью в 100 особей имеется два аллеля, представленных равным количеством копий – 50. Частоты этих аллелей будут равны 50 %. Если в популяции произойдет какой-то катаклизм, резко и произвольно уменьшающий численность особей (например – засуха или землетрясение), то среди выживших особей частота данных аллелей может остаться «пятидесятипроцентной», но может и измениться, составить, к примеру 65 % и 35 %. Тогда можно будет говорить о дрейфе генов.

А в случае, когда частоты аллелей будут значительно отличаться друг от друга, например – 97 % и 3 %, в результате катаклизма могут погибнуть все особи, представляющие «трехпроцентный» вариант. Тогда частота сохранившегося аллеля составит 100 %. Такой вот дрейф. Расклад может оказаться совершенно любым.

Два примера, которые сейчас были рассмотрены, относятся к так называемому эффекту бутылочного горлышка. Катаклизм создает условное «бутылочное горлышко» и выживает тот, кто успеет проскочить в это «горлышко». А кто именно проскочит – неизвестно, никакой закономерности здесь нет. Вполне возможно, что проскочат не самые приспособленные, а те, кто оказался ближе к «горлышку», например – обитал дальше от эпицентра землетрясения или же вблизи водоема, который во время засухи не высох полностью.

Если естественный отбор отбирает наиболее приспособленных к условиям внешней среды, то при дрейфе генов отбор является случайным.

Другой механизм дрейфа генов называется «эффектом основателя». Представим, что по какой-то причине была отделена часть крупной популяции с равномерным распределением аллелей «50 на 50». Например, в результате землетрясения часть материковой территории превратилась в остров или же горный обвал отгородил один участок местности так, что многие животные не в состоянии его покинуть. В отделенной части популяции аллели могут быть распределены не так, как в материнской популяции. В нашем примере изначальные частоты составляли по 50 %, а у «отпочковавшейся» популяции это соотношение может составлять, скажем 70 % и 30 %. Такое соотношение будет поддерживаться в «отпочковавшейся» популяции в ходе ее эволюционного развития. Потому данный

механизм и называется «эффектом основателя» – как основали, так и пошло (до тех пор, пока жизнь в новое бутылочное горлышко не загонит).

Так вот, если в результате дрейфа генов признак предпочтения, ну, скажем, длиннохвостых самцов, распространится в популяции до значимых пределов, то такие самцы получат эволюционно важное репродуктивное преимущество – им будут доступны для спаривания все самки, а короткохвостые самцы смогут спариваться только с теми самками, у которых нет пристрастия к длинным хвостам. В результате длиннохвостые самцы будут оставлять больше потомства, чем их короткохвостые собратья – в этом смысл фишеровского убегания. А у длиннохвостых самцов и потомство длиннохвостое, так что спустя некоторое время длинный хвост, не имеющий никакого практического значения, станет в популяции нормой. С другой стороны, репродуктивное преимущество будут получать самки, предпочитающие длиннохвостых. Преимущество это является не прямым, а опосредованным, реализуемым в последующих поколениях – длиннохвостые сыновья этих самок смогут оплодотворить больше самок и оставить больше потомства. Если хочешь больше внуков – выбирай себе партнера с длинным хвостом!

Существуют и другие гипотезы, пытающиеся объяснить происхождение полового отбора и его механизмы. Так, например, гипотеза сверхстимулов считает яркие или гипертрофированные половые признаки самцов средством манипулятивного воздействия на самок. Преувеличенные стимулы привлекают самок не как свидетельство хорошего здоровья самца, а потому что такие стимулы оказывают более сильное воздействие на психику, нежели стимулы обычного порядка, с которыми самки сталкиваются повседневно. Акцент делается на силу воздействия, а не на подтверждение «качественности» самца. Образно говоря: удивил – значит покорил.

Пожалуй, самыми отъявленными манипуляторами являются самцы больших серых шалашников. Эти небольшие птицы называются так потому что в брачный период строят «шалаши» – галереи из веточек. На площадках перед шалашами самцы раскладывают различные предметы, преимущественно камушки, причем раскладывают не абы как, а сортируют их по размеру – крупные выкладываются дальше от «шалаша», а мелкие – ближе к нему. Такая раскладка создает у самки, наблюдающей из «шалаша» за брачными выкрутасами самца, оптическую иллюзию – самец кажется ей крупнее, чем на самом деле.

Механизмы предпочтений самок трактуются всяко-разно и

единого мнения по этому вопросу не существует до сих пор. Некоторые ученые говорят прямо: «если уж сам Дарвин смог объяснить этого, то нечего и пытаться» или же «гадать можно сколько угодно, у павлинов все равно не спросишь, зачем им такой «хвост». Но подобный пессимизм вряд ли можно считать оправданным. В конце концов, у нас есть такие инструменты, как компьютерное моделирование или логическое мышление.

Некоторые читатели могут удивиться – без малого полтора века прошло с публикации дарвиновского труда о половом отборе, а воз, образно говоря, и ныне там, ученые все никак не могут разобраться в этой теме и прийти к единому мнению.

Да, на фоне бурного научного прогресса такой «застой» выглядит весьма странным. Но дело в том, что половой отбор очень трудно поддается изучению. Далеко не всегда можно с уверенностью сказать, что данный признак является результатом действия полового отбора. Все очень туманно, потому и гипотез так много.

В последнее время стало модным объяснять все происходящее действием тех или иных гормонов. Разумеется, такая тенденция не могла обойти стороной половой отбор. В качестве ключевого звена полового отбора рассматривается тестостерон, мужской половой гормон, стимулирующий развитие вторичных половых признаков у самцов. Многие ученые считают, что все дело в уровне тестостерона и пытаются связывать с этим показателем все признаки, которые привлекают самок. Так, например, появилась гипотеза иммунного гандикапа, согласно которой гандикапом является повышенная выработка тестостерона, который с одной стороны стимулирует развитие привлекательных для самок признаков, а с другой – угнетает иммунную систему. Только супермачо – наиболее здоровые самцы могут позволить себе расплачиваться снижением иммунитета за высокий уровень тестостерона. А согласно гипотезе вызова, при выборе самцов с высоким уровнем тестостерона, самки жертвуют таким показателем, как забота о потомстве, которую тестостерон понижает.

Характер полового отбора зависит от того, когда именно самка вкладывает свои ресурсы в потомство – до оплодотворения или после него.

Не совсем понятно о чем идет речь?

До оплодотворения вкладывают ресурсы в потомство виды, которые откладывают яйца или мечут икру. А после оплодотворения ресурсы вкладывают те, кто вынашивает потомство в себе. У самок, вкладывающихся в потомство до оплодотворения, весь выбор заключается в выборе самца. Для них

(самок) имеют большое значение признаки самца, брачные наряды, брачные ритуалы и все такое прочее. Самки, вкладывающие свои ресурсы в потомство после оплодотворения, не столько обращают внимание на выбор партнера, сколько на жизнеспособность потомства – более приспособленные дети будут получать больше материнского внимания. Это жестоко, но такова жизнь. C'est la vie, c'est la vie, c'est la vie…[95]

Половой отбор может служить защитой для отдельных популяций. Какое-нибудь небольшое племя, находящееся в окружении более сильных соседей, может защититься от истребления при помощи оригинальных стандартов женской красоты, которые соседям будут казаться отталкивающими. Так, например, женщины племени мвила, живущего в Анголе, наносят на волосы смесь из масла, древесной коры и навоза. А что прикажете делать? Выживать как-то надо.

Следите за новостями, касающимися полового отбора! Теперь вы в деле, то есть – в теме и можете разобраться в этих новостях без посторонней помощи.

Вот вам провокационный вопрос, показывающий, насколько хорошо вы усвоили прочитанный материал. Отвечать надо сразу, не раздумывая. В былые времена сказали бы: «отвечай не головой, а сердцем».

Половой отбор конфликтует с естественным отбором?

Нет, он его дополняет! Половой отбор повышает эффективность естественного отбора потому что повышает шансы хорошо приспособленных самцов на оставление потомства. Естественный отбор прежде всего нацелен на выживание, а половой – на размножение. А в чем заключается биологический смысл жизни организма? В выживании и размножении. И вообще составная часть (половой отбор) не может противоречить целому (естественному отбору).

А знаете ли вы, что половой отбор может привести к снижению совокупного интеллекта человечества?

Каким образом? Все очень просто. Есть такая штука, как конфликт отцов и детей, который выражается в том, что более умные особи заботятся только о себе, не жертвуя своими интересами ради потомства.

Может ли иметь место такая жертвенность?

Запросто! Например, добывая пропитание для потомства, особь может стать жертвой хищника.

Более умные особи не жертвуют своими собственными интересами ради потомства. Но самки выбирают для спаривания не более умных, а более заботливых, более верных, более надежных…[96]

И напоследок – о тайной конкуренции между самцами и бойцах невидимого фронта.

Конкуренция между самцами может быть тайной и бойцами в этой войне являются сперматозоиды.

С недавних пор (конец прошлого века) существует теория спермовых войн, объясняющая конкуренцию спермы у видов, спаривающихся по промискуитетному типу, при котором самку могут оплодотворять разные самцы.

Согласно этой теории, около 99 % сперматозоидов запрограммировано природой не на оплодотворение яйцеклетки, а на борьбу с чужими сперматозоидами, которые могут находиться в половых путях оплодотворенной самки. Сперматозоиды-воины создают препятствия для чужаков или же попросту уничтожают их, давая возможность сперматозоидам-оплодотворителям сделать свое дело.

Теория спермовых войн убедительно объясняет разницу в строении половых органов самцов человека, шимпанзе и горилл. Эти два вида высших приматов являются самыми близкими нашими родственниками. Шимпанзе мы можем считать родными братьями, поскольку наши с ними эволюционные пути разошлись «всего-навсего» 6 500 000 лет назад, а горилл – двоюродными, поскольку с ними мы разошлись раньше.

Шимпанзе ведут промискуитетный образ жизни. В стае, кроме вожака, могут быть и другие половозрелые самцы, признающие власть вожака. Вожак пользуется преимуществом в спаривании. Ни одна, пригодная к оплодотворению, самка ему в сближении обычно не отказывает, а вот другим самцам может отказать. Но, так или иначе, самки шимпанзе оплодотворяются разными самцами и потому спермовая война в их организмах идет, что называется, «ни на жизнь, а на смерть». Поэтому самцы шимпанзе имеют огромные семенники, которые вдесятеро больше семенников человека. Во время одного полового акта самцы шимпанзе выделяют до 100 мл спермы! Для сравнения – у человека в среднем однократно выделяется от 3 до 5 мл спермы. Что же касается количества сперматозоидов в 1 мл спермы, то у шимпанзе оно составляет около 600 000 000, что в 7–10 раз больше, чем у человека. А вот у горилл, ведущих гаремный образ жизни, при котором доступ к самке имеет только один самец, отбор не шел по пути увеличения количества спермы и ее насыщенности сперматозоидами. Поэтому в 1 мл спермы гориллы содержится около 50 000 000 сперматозоидов, что немного меньше нижней планки нормального человеческого показателя и в 12 раз меньше, чем у шимпанзе. Мы же занимаем промежуточное положение между нашими братьями, потому что

наши общие с шимпанзе предки-обезьяны придерживались свободных промискуитетных отношений, а древние люди в процессе эволюции перешли к отношениям парным.

А вот по такому важному (без какого-либо преувеличения и тем более без иронии) параметру, как размер пениса, человек находится впереди приматов всех. В состоянии эрекции средняя длина пениса человека составляет 12-14 см, у шимпанзе – около 7 см, а у горилл – 3-4 см. Вдобавок пенис человека длиннее и толще пенисов человекообразных обезьян.

Почему вектор отбора у человека направлен на увеличение пениса?

Мнения по этому вопросу расходятся.

Первая версия связывает увеличение пениса со спермовыми войнами. Зачем вырабатывать огромные количества суперконцентрированной спермы, если можно обеспечить ее доставку ближе к яйцеклетке посредством длинного пениса? Так будет рациональнее, ведь длинный пенис обходится организму дешевле постоянной выработки ударных количеств спермы. Образно говоря, у шимпанзе отбор сделал ставку на количество бойцов, а у нас – на средство доставки «боеприпасов».

Вторая версия объясняет крупный размер человеческого пениса прямохождением. Оплодотворение яйцеклетки происходит не сразу же после эякуляции, а по прошествии несколько часов (от 3 до 8 часов). За это время сперматозоиды успевают достичь яйцеклетки. Вертикальное положение тела затрудняет продвижение сперматозоидов к яйцеклетке, а также может приводить к излитию спермы из половых путей женщины наружу под действием силы тяжести. Чем ближе к яйцеклетке окажется сперма после эякуляции, тем больше шансов на то, что оплодотворение состоится.

Согласно третьей версии во всем «виноваты» женщины, которые по понятным причинам отдавали предпочтение мужчинам с более крупными пенисами. Надо сказать, что третья версия выглядит наиболее убедительной.

Глава шестнадцатая. Селекция и генная инженерия

«Садоводство – дело целого народа, оно является после полеводства одним из самых полезных для здоровья народонаселения занятий и самым продуктивным в смысле доходности, не говоря уже об облагораживающем и смягчающем влиянии его на характер человека», считал знаменитый ученый-садовод Иван Владимирович Мичурин и был тысячу раз прав. Селекция (ведь именно в ней и заключается сущность садоводства), как и любое доброе дело, облагораживает того, кто его творит и смягчает характер. Вместо того, чтобы испытывать негативные эмоции по поводу несовершенства окружающего мира и ожесточаться, селекционеры пытаются немного улучшить этот несовершенный мир при помощи результатов своего труда. Чем ожесточаться, лучше новый сорт орхидей вывести или, скажем, новую породу лошадей.

Кстати, а что еще могут выводить селекционеры, кроме пород животных или сортов растений?

Штаммы микроорганизмов! Селекция микробов в наше время имеет не менее важное значение, чем селекция растений и животных.

«Селекция» переводится с латыни как «отбор». Суть любой селекции заключается в искусственном отборе особей для последующего размножения. В былые времена, до появления генетики, селекцию проводили интуитивно – скрещивали особей, имевших хорошо выраженные полезные качества. Чаще всего отбор проводился в течение длительного времени, во многих поколениях, но иногда людям везло – с животными или растениями происходила какая-то полезная мутация, которую оставалось только закрепить в потомстве. Типичным и часто приводящимся в научной литературе примером использования полезной мутации является выведение породы.

Анконские овцы удостоились внимания самого Чарльз Дарвин в своем труде «Изменчивость животных и растений в одомашненном состоянии» в качестве примера внезапного возникновения новой породы приводит коротконогих анконских овец. Дело было так – в 1791 году на одной из ферме в американском штате Массачусетс родился ягненок с длинным туловищем и очень короткими искривленными ногами. Когда этот ягненок вырос в барана, его хозяин оценил преимущество коротких ног, которые не позволяли перепрыгивать через

изгороди пастбищ. Выгода от коротконогости получалась двойной. Во-первых, отпадала необходимость в пастухах и собаках, достаточно было утром отогнать овец на огороженное пастбище, а вечером вернуть в хлев. Во-вторых, не наносился ущерб полям. Надо сказать, что ущерб этот был значительным, поскольку овцы не только поедали всходы, но и вытаптывали их. Фермер скрестил коротконогого барана с его матерью и получил ожидаемое коротконогое потомство. Селекция была простой, так как проводилась по одному-единственному признаку – нужно было закрепить в потомстве всего один ген. Вдобавок у фермера была возможность скрещивания обладателя полезного признака с его матерью. То был уникальный случай выведения новой породы при помощи одного-единственного скрещивания. Обычно на это уходят годы. А вообще-то селекция происходила непрерывно с того самого момента, когда люди начали заниматься обработкой земли и скотоводством. Для посева всегда отбираются лучшие семена, а преимущество в скрещивании имеют те животные, у которых полезные признаки выражены лучше, чем у других.

Давайте познакомимся с основными методами селекции.

Первый метод – это подбор родительских пар, который преимущественно применяется в селекции животных, для которых характерно только половое размножение и немногочисленное, в сравнении с растениями, потомство. Подбор родительских пар – длительный и затратный процесс. Подобрали родителей – скрестили – дождались потомства – вырастили потомство до половозрелого возраста – подобрали новых особей для скрещивания с нужными признаками – снова скрестили… Для того, чтобы достичь нужного результата, скрещивать приходится многократно. Советский генетик Александр Серебровский называл подбор пар «вершиной селекции» и «наиболее творческой ее частью».

Второй метод – это отбор особей для дальнейшего размножения. Обратите внимание на то, что селекционный отбор всегда является искусственным и нередко входит в противоречие с естественным отбором. Взять хотя бы тех же анконских овец. В дикой природе короткие ноги были бы крайне неблагоприятным признаком. Ягненок с короткими ногами практически не имел шансов дожить до половозрелого возраста. Или бы он погиб из-за плохого питания потому что длинноногие собратья успевали бы съедать траву раньше, или бы стал добычей, отбившись от стада. Другим примером противоречия между естественным и искусственным отборами могут служить свиньи элитных пород, которые из-за своего огромного веса с трудом передвигаются и нуждаются в постоянной опеке. Ну а бесшерстные породы кошек –

это просто надругательство над высокими идеалами естественного отбора.

Селекционный отбор бывает массовым и индивидуальным. Разница между двумя типами отбора огромная, можно сказать – принципиальная.

При массовом отборе особи, не обладающие нужными признаками или обладающие нежелательными признаками, отстраняются от размножения (стерилизуются, изолируются или уничтожаются). Таким образом происходит улучшение генофонда популяции.

Массовый отбор – это отбор «навылет». Неугодные устраняются, а все остальные могут размножаться.

Массовый отбор бывает эффективным в том случае, когда отбираются качественные,[97] просто наследуемые и легко определяемые признаки. Массовый отбор обычно проводят по фенотипу и главный его недостаток заключается в том, что далеко не всегда по фенотипу можно определить лучший генотип. Как говорится: «и лицом бел, и телом статен, а дурак дураком».

Массовый отбор широко применяется в растениеводстве среди перекрестноопыляемых растений,[98] у которых проще убрать из популяции ненужные организмы, нежели обеспечить скрещивание двух конкретных организмов поскольку пыльца переносится «неуправляемыми силами» – ветром и насекомыми.

При индивидуальном отборе для скрещивания выбираются отдельные особи, обладающие нужными признаками. Индивидуальный отбор эффективен при отборе особей по количественным, плохо выраженным и сложно наследуемым признакам. Этот метод позволяет точно оценить генотип по анализу наследования признаков у потомства (вспомните монаха, который выращивал горох). Его обычно применяют по отношению к самоопыляемым растениям, таким, например, как пшеница, ячмень, горох, а также к животным.

Третий метод – это гибридизация, процесс получения гибридов, объединяющих генетический материал своих родителей.

В селекции животных различают два основных способа скрещивания: инбридинг и аутбридинг.

Инбридингом называют скрещивание близкородственных форм. В качестве исходных участников при инбридинге используются братья и сестры или же родители и потомство. Делается это с целью разложения исходной формы на ряд чистых линий путем получения гомозиготных организмов, то есть тех, которые содержат одинаковые пары генов и не дают расщепления признаков в потомстве.

Непонятно? Многие признаки кодируются рецессивными генами и не проявляются в паре с доминантным геном. Но если скрестить двух животных с рецессивными генами, то в их потомстве будет высокой частота рецессивных пар. Если повторить инбридинг в течение нескольких поколений, то нужная рецессивная характеристика закрепится, став гомозиготной. В растениеводстве инбридингу соответствует самоопыление растений.

Инбридинг позволяет с высокой вероятностью получать особей с конкретными признаками и характеристиками.

Главным недостатком инбридинга является пониженная жизнеспособность потомства. Скрещивание близкородственное, следовательно, велика частота проявления схожих мутаций. Кроме того, при инбридинге возрастает частота наследственных заболеваний, обусловленных рецессивными генами. Поэтому, в большинстве случаев, инбридинг является только начальным этапом селекции. Добившись определенного результата с помощью инбридинга, селекционеры приступают к скрещиванию разных межлинейных гибридов для того, чтобы снизить вредные последствия близкородственного скрещивания путем перевода нежелательных рецессивных аллелей в гетерозиготное состояние. Чистота породы при этом немного снижается, но зато вырастает ее жизнеспособность. Такое неродственное скрещивание между особями одной породы или разных пород животных в пределах одного вида называется аутбридингом.

«В пределах одного вида», обратите внимание. Скрещивание волка с собакой – это аутобридинг, а скрещивание осла с лошадью – это отдаленная гибридизация, поскольку скрещиваются животные, относящиеся к разным биологическим видам.

Аутбридинг обычно представляет собой более масштабный процесс, нежели инбридинг, то есть – в скрещивании участвует бóльшее количество особей. Аутбридинг применяется для поддержания полезных качеств и усиления их выраженности у следующих поколений. Различают также – получение межвидовых и межродовых гибридов, которая гораздо чаще применяется в селекции растений, нежели в селекции животных.

В практическом животноводстве аутбридинг называют разведением по племенной книге.

Доводилось ли вам слышать о племенных книгах? Герои некоторых литературных произведений сильно переживали из-за того, что их лошади не были занесены в племенные книги, а другие герои пускались на всякие ухищрения, от подкупа до мошенничества ради того, чтобы их лошадь попала в такую

книгу.

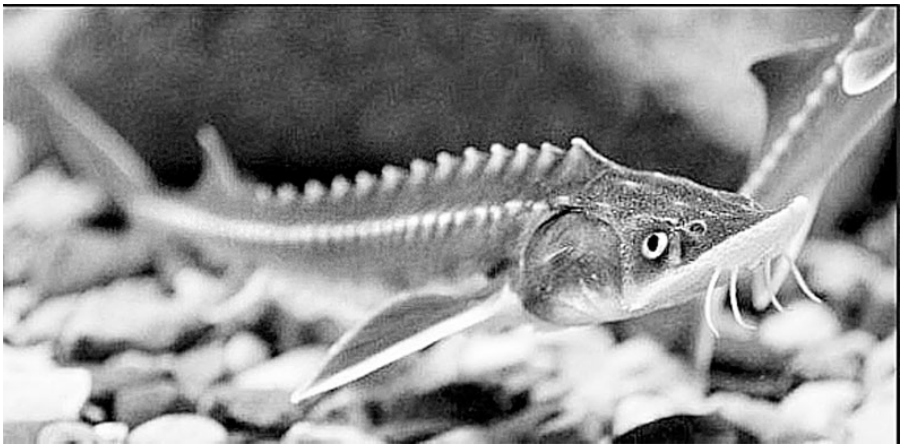
Если вы занимаетесь «неродственным» скрещиванием, то вам нужно быть уверенным в том, что избранные вами для скрещивания особи соответствуют стандарту породы и имеют «чистое» происхождение. Для упорядочения и облегчения селекционной работы существуют реестры породы, называемые «племенными книгами». В эти книги вносят животных, которые считаются годными для разведения.

Племенные книги бывают закрытыми и открытыми. В закрытые племенные книги записывают только чистопородных животных, предки которых значатся в племенных книгах. Закрытая племенная книга позволяет сохранять чистоту породы, но ограничивает ее способность к улучшению, а также ограничивает генофонд породы. В открытые племенные книги записывают как чистопородных животных, так и высококровных помесей (гибридов, имеющих более половины кровности по чистокровной породе).

Племенные книги существуют с конца XVIII века. Изначально в племенные книги записывалось только происхождение животных. Позднее, кроме происхождения, стали записывать основные показатели развития, экстерьера,[99] продуктивности и племенной деятельности животных.

Межвидовые и межродовые гибриды животных и растений чаще всего бывают бесплодными по причине нарушения образования половых клеток вследствие несовпадения количества отцовских и материнских хромосом. Но если половые клетки у гибридов образуются нормально, то они могут давать начало новым биологическим видам, объединяющим в себе качества (полезные качества) обоих предков.

Так, например, гибрид белуги и стерляди бестер сочетает быстрый рост белуги и раннее созревание стерляди, сравнительно легко привыкает к искусственным кормам и не требователен к теплу (диапазон температур роста варьирует от 1 до 30 С°). Взрослые особи достигают в длину до 1,8 метров, а масса их может превышать 30 килограмм. Самки бестера откладывают по 2-3 килограмма черной икры.



Бестер

Белуга и стерлядь принадлежат к разным родам осетровых рыб, но число хромосом у них одинаковое, и потому бестер хорошо размножается.

Гибрид хорька и европейской норки, называемый хонориком, произошел от скрещивания гибридного хорька-самца, родителями которого были черный и светлый хорьки и самки европейской норки. Хонорик – «трехвидовой» гибрид. Мех у хонорика такой же, что и у норки, но размеры тела больше, чем у хорька или норки. В этом и заключается его преимущество, как пушного зверя – шкурка больше, чем у норки при практически том же качестве меха. Впрочем, некоторые знатоки утверждают, что хонорик по качеству и красоте меха значительно превосходит норку. Хонорики примечательны тем, что встречаются и в дикой природе, в местах совместного обитания норок и хорьков. Также в природе встречаются и другие гибриды, например, зебры и лошади (зеброид), бизона и зубра (зубробизон), соболя и лесной куницы (кидус).

Хонорик

Гибрид горных баранов архаров и овец-мериносов, называемый архаромериносом, способен пастись высоко в горах, куда обычные овцы добраться не могут, но при этом дает такую же высококачественную шерсть, что и мериносы. Но главным преимуществом архаромериносов являются их размеры, которые значительно превосходят размеры архара и барана. Вес самцов может доходить до 150 килограмм, а вес у самок – до 90!

Архаромеринос

Гибриды, а в особенности гибриды первого поколения, отличаются повышенной жизнеспособностью (а также повышенной плодовитостью и бóльшими размерами), нежели их родители. Увеличение жизнеспособности гибридов называется гетерозисом. С гетерозисом пока еще не все ясно, но принято объяснять его гетерозиготностью гибридов – у потомков родителей, принадлежащих к разным биологическим видам, а то и родам, большинство аллельных пар переходит в гетерозиготное состояние. При этом рецессивные «вредные» гены, снижающие жизнеспособность, не проявляются. Проще говоря, при сильно различающихся генотипах отца и матери меньше вероятность проявления у потомства нежелательных вредных признаков.

Со второго поколения гетерозисный эффект начинает угасать. Это можно объяснить повышением доли гомозиготных организмов, ведь второе поколение получается в результате близкородственного скрещивания. Потому для выращивания гетерозисных гибридов необходимо постоянное производство чистых линий. Скрестили чистые линии – получили гибрид –

засеяли им поля – получили урожай – засеяли поля новым гибридом…

Феномен гетерозиса широко используют в растениеводстве и животноводстве. Бройлерные цыплята, отличающиеся очень быстрым ростом – это гибриды первого поколения (или же первых поколений). Широко используются суперплодовитые гибридные сорта сельскохозяйственных культур, в первую очередь кукурузы и пшеницы. В целом урожайность гетерозисных гибридов на 10-30 % выше, чем у обычных сортов, а гибриды кукурузы стандартно «держат планку» на уровне 30 %. Повышенная жизнеспособность гибридов первого поколения проявляется не только в бóльшей урожайности, но и в устойчивости к температурным колебаниям, засухе и болезням.

Интересная деталь – в скотоводстве гибриды первого поколения отличаются более крупными размерами, говоря официальным языком – имеют повышенную мясную продуктивность, а вот повышенной молочной продуктивности у них не наблюдается. Молочную продуктивность можно повышать только при помощи отбора.

Селекция микроорганизмов имеет не менее важное значение, чем селекция растений и селекция животных. Микроорганизмы создают вещества, используемые в различных отраслях промышленности – фармацевтической, химической, пищевой, металлургической… Да, представьте, и в металлургической тоже – в частности микроорганизмы применяются для выщелачивания металлов из бедных медных и урановых руд. Такие отрасли пищевой промышленности, как хлебопечение, производство спирта и некоторых органических кислот, а также виноделие основаны на деятельности микроорганизмов. Микроорганизмы производят антибиотики, гормоны, витамины и ряд других лекарственных средств.

Традиционная, «исконная» селекция микроорганизмов использовала два метода – отбор и искусственный мутагенез. Вызывать мутации у микроорганизмов, размножающихся бесполым путем, очень удобно. Во-первых, любые мутации проявляются уже в первом поколении, потому что у однополых существ, размножающимся делением, нет генных пар. Парам просто неоткуда взяться, ведь в размножении участвует только один родитель. Во-вторых, микроорганизмы очень интенсивно размножаются, что дает возможность быстро находить полезные мутации по нужному гену.

Оценить эффективность «микробной» селекции можно хотя бы на примере грибов, вырабатывающих антибиотик пенициллин. Селекционерам удалось повысить продуктивность грибов более

чем в 1000 раз! Животноводам и растениеводам такие увеличения продуктивности-урожайности неведомы.

Наш век – это век генной инженерии.

Как, по-вашему – чем генная инженерия отличается от селекции?

Дело в разных способах воздействия на генотип. Селекция воздействует на генотип косвенно и опосредованно, через многочисленные скрещивания. А генная инженерия непосредственно изменяет генетические коды, «переписывая» их так, как нужно.

Возможности генной инженерии несравненно шире возможностей селекции. Можно сказать, что генная инженерия всемогуща. Если ее могущество чем-то и ограничивается, так это уровнем развития науки. А теоретически, комбинируя гены, можно творить с живыми организмами буквально все, что вздумается. Звучит пугающе, но практически любое знание можно обратить как во благо, так и во зло.

Начало генной инженерии было положено в семидесятые годы прошлого века, когда ученые открыли рестриктазы (ферменты, «разрезающие» нуклеиновые кислоты) и поняли, что с их помощью можно нарезать молекулы ДНК на фрагменты и собирать из этих фрагментов новые молекулы. Главное для любого мастера – это хороший, надежный инструмент. Был бы инструмент, а все остальное приложится.

Рестриктазы ценны тем, что каждый конкретный фермент дает свой тип «нарезки» цепочек нуклеиновых кислот на фрагменты. Зная индивидуальные особенности рестриктаз, генетики могут подбирать ферменты так, чтобы получить нужные фрагменты.

Затем фрагменты вставляют в так называемые векторы – относительно небольшие молекулы ДНК вирусов или бактерий – и внедряют векторы в клетки, генотип которых нужно изменить. Проще всего внедрять ДНК в бактерии – если лишить бактерии их собственной ДНК, то они охотно «впитают» чужую, достаточно только поместить бактерии и ДНК в одну пробирку.

К сожалению, сознательность у вирусов пока еще хромает, причем сильно. В клетки они внедряются беспрекословно, но вот дальше ведут себя по-разному. Могут вставить в молекулу ДНК принесенные гены, а могут и не вставить. А еще могут вставить не туда, куда следовало, спутав похожие участки на молекуле ДНК. Поэтому, «натравив» вирусы на клетки, ученые затем «отделяют зерна от плевел» – отбирают для дальнейшей работы те клетки, в которых вирусы сделали все так, как было нужно.

После того, как желаемый результат получен, его

«тиражируют» – размножают генетически модифицированные организмы. Кстати говоря, распространенное название «генетически модифицированные организмы» является не совсем точным определением для организмов, полученных в результате генной инженерии, потому что организмы, получаемые в результате обычной селекции, тоже являются генетически модифицированными, содержащими измененный генотип. Слово «модификация» означает преобразование или изменение в широком смысле, а вот приставка «транс-» четко указывает на перенос из одного места в другое, так что правильно называть ген, добавленный извне в геном, трансгеном, а организм, полученный в результате такой манипуляции – трансгенным организмом.

Генные инженеры говорят, что их возможности ограничены только лишь их воображением. Это совсем и нисколько не шутка, а истинная правда. С точки зрения технологии абсолютно не имеет значения, чей ген кому пересаживать. Да хоть от ископаемого мамонта дождевому червю! Важна только практическая целесообразность. Откуда и куда пересаживать не имеет значения. Важно только одно – зачем?

Другим преимуществом генной инженерии, не менее важным, чем неограниченные возможности, является скорость. Селекционеры могут годами, а то и десятилетиями решать поставленную задачу. И не факт еще, что им удастся ее решить… А генные инженеры добиваются своего практически сразу. Сроки исполнения задач в генной инженерии обычно исчисляются днями или неделями, а дальше уже происходит рост и размножение трансгенного организма, причем результат неизменно соответствует ожиданиям, без поправок на «авось» и «небось», распространенных среди селекционеров.

Для получения организмов с желаемыми свойствами генные инженеры не только пересаживают гены, но и «ампутируют» их, удаляя фрагменты из молекул ДНК. Подобные «ампутации» позволяют, к примеру, повысить устойчивость организмов (преимущественно – растительных) к определенным вирусам.

Каждый вирус запрограммирован природой на внедрение в молекулу клеточной ДНК на определенном участке. Вирус не может прикрепляться «куда угодно» в цепочке нуклеиновой кислоты, у него есть свои «якоря». Если вырезать эти «якоря» из молекул ДНК, то вирус не сможет внедриться в клеточную ДНК и запустить процесс самокопирования. Нет «якорей» – нет и болезни!

От генной инженерии следует отличать инженерию клеточную, представляющую собой набор различных методов

гибридизации соматических клеток. Гибридизации, то есть получения гибридных клеток при скрещивании двух разных генетически различающихся организмов, а не целенаправленного изменения генотипа, производимого генными инженерами. Клеточные инженеры работают с клетками, генные – с генами, в том-то и заключается разница.

Послесловие

Все интересное, что есть в биологии, в одну книгу уместить невозможно. Поэтому автор просит прощения у тех читателей, которые не нашли в этой книге чего-то ожидаемого. Задачей автора было дать (или освежить) представление о биологии и некоторых ее разделах. Насколько автор с этой задачей справился, решать вам, дорогие читатели. Ну а если вам захочется углубить свои знания, то вы без проблем найдете нужную вам книгу в океане научно-популярной литературы.

На этом можно ставить точку.

notes

Примечания

О них мы поговорим в следующей главе.

2

Прежде было принято считать, что воды в человеческом теле больше – до 80 %.

3

От латинского слова «гумор» – жидкость.

4

Увеличительные приборы, которые делал Левенгук, позволяли рассматривать объекты в сильно увеличенном виде, поэтому их традиционно называют «микроскопами». Но приборы Левенгука представляли собой одну-единственную линзу, укрепленную на штативе, то есть, по сути, являлись не микроскопами, а лупами (в классическом микроскопе линз должно быть две).

5

Ионом называется электрически заряженная частица вещества, которая образуется из атома или молекулы, при потере или присоединении электронов.

Больше о ДНК, РНК и всей генетике в целом вы можете узнать из книги Андрея Шляхова «Генетика для начинающих» (издательство АСТ, серия «Наука на пальцах», 2019).

7

Изменение числа хромосом приводит к патологическим состояниям. Клетки человеческого организма содержат 46 хромосом (23 пары). При появлении в 21-ой паре дополнительной хромосомы, в результате чего общее число хромосом становится равным 47, развивается синдром Дауна, названный так в честь впервые описавшего его в 1866 году английского врача Джона Дауна.

8

Гидролизом (водным разложением) называется химическая реакция взаимодействия вещества с водой, при которой происходит разложение этого вещества и воды с образованием новых соединений.

9

В химической номенклатуре используются умножающие приставки (они же умножающие префиксы, числовые приставки или числительные приставки) – приставки, обозначающие количество повторений понятия, лежащего в основе термина. Приставка «три» – обозначает 3, «ди» – 2, а «моно» – 1.

10

В 2002 году в «Медицинском журнале Новой Англии» (США) было опубликовано сообщение об обнаружении отцовской митохондриальной ДНК у 28-летнего мужчины. (Schwartz M., Vissing J. «Paternal inheritance of mitochondrial DNA», The New England Journal of Medicine, 01 Aug 2002, 347(8):576-580).

11

«Гиалос» в переводе с греческого означает «стекло».

12

Бактерии – безъядерные одноклеточные микроорганизмы, объединенные в одноименный домен (самый верхний уровень группировки организмов в биологической систематике).

13

Энцефалопатия – органическое поражение головного мозга, общее название для заболеваний головного мозга не воспалительного характера.

14

Абиогенный – происходящий без участия живых организмов.

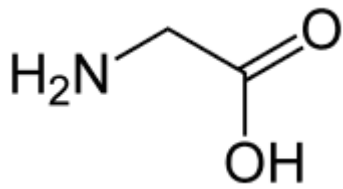
15

Гипотеза – это предположение, которое пока еще не нашло подтверждения. Теория же представляет собой совокупность взаимосвязанных утверждений, касающаяся какого-то предмета. Теория может включать в себя отдельные гипотезы, но большинство утверждений, составляющих теорию, имеют подтверждение.

16

Пептидами (от греческого слова «пептос») химики называют вещества, молекулы которых состоят из двух и более остатков аминокислот, соединённых в цепь пептидными связями – C(O)NH–. Белками называют пептиды, молекулы которых содержат от 50 и более аминокислотных остатков. В данном контексте под пептидами понимаются вещества с небольшим количеством аминокислотных остатков в молекулах.

17



Вот формула этого вещества.

Для органического вещества оно и впрямь очень простое по своему строению.

Слово «споннтанному» взято в кавычки потому что спонтанность подобных экспериментов довольно условна. Эксперименты ставятся осмысленно и целенаправленно.

19

В переводе с древнегреческого «панспермия» означает «смесь всяческих семян».

20

Световое излучение, как и любое электромагнитное излучение, оказывает на тела определенное давление. Существуют формулы для вычисления светового давления. Одним из следствий давления солнечного света, является то, что кометы, пролетающие вблизи Солнца, имеют «хвосты».

21

С английского «crossing over» переводится как «пересечение».

22

Биополимерами называются полимеры, входящие в состав живых организмов: белки, нуклеиновые кислоты, полисахариды. Биополимеры состоят из одинаковых или схожих друг с другом звеньев – мономеров. Мономерами белков являются аминокислоты, мономерами нуклеиновых кислот – нуклеотиды, мономерами полисахаридов – моносахариды.

23

Греческое слово «генезис» означает «зарождение», «происхождение» или «развитие».

24

В одиннадцатой главе мы вернемся к теме полового размножения, когда станем рассматривать гипотезу Черной королевы.

С научной точки зрения такая формулировка является неверной, поскольку количество в качество перейти не может. Суть перехода количественных изменений в качественные заключается в том, что определенные количественные изменения приводят к изменению сопутствующих качеств – количество переходит в другое количество (но не в качество!), а качество вследствие изменения количества превращается в другое качество. Однако для краткости можно говорить: «количество переходит в качество», тем более, что эта книга посвящена вопросам биологии, а не философии.

26

Тканью в биологии называют совокупность клеток и межклеточного вещества, объединенных общим происхождением, строением и выполняемыми функциями. Понятие «ткань» ввел в научный обиход упоминавшийся выше английский ученый Неемия Грю, основоположник анатомии растений (да, представьте, у растений тоже есть анатомия J). Растительное вещество Грю представлял не как совокупность клеток, а как совокупность волокон переплетающихся, словно нити в тканях, потому и говорил о «растительной ткани».

27

Вольвокс – это род подвижных микроорганизмов, относящихся к отделу зеленых водорослей. Эти микроорганизмы обитают в стоячих пресных водоемах, при массовом размножении вызывают «цветение» воды, окрашивая ее в зеленый цвет. Число клеток в колонии вольвокса варьируется от 200 до 10 000. Двухжгутиковые клетки вольвокса связаны друг с другом цитоплазматическими нитями-мостиками в единое целое. Это позволяет вольвоксу согласованно работать жгутиками и плыть в направлении источника света. Отдельные клетки вольвокса уходят внутрь шара, образуя там молодые «дочерние» колонии. Внутри «дочерних» колоний также образуются новые колонии, которые можно назвать «внучатыми». Разрастаясь, «дочерние» колонии разрывают материнскую и выходят наружу. Большинство клеток колонии вольвокса вегетативные (то есть – не принимающие участия в половом размножении), но есть и генеративные клетки, участвующие в процессе размножения, они крупнее вегетативных и не имеют жгутиков. В женских генеративных клетках вольвокса развиваются яйцеклетки, а в мужских – сперматозоиды. Кроме полового размножения, в вольвоксе посредством особых клеток, называемых партеногонидиями, осуществляется бесполое размножение митотическим делением.

28

Денатурацией называют процесс изменения конфигурации белковой молекулы, приводящий к потере естественных физико-химических свойств.

29

В переводе с греческого – «питающиеся при помощи химии».

30

Это название переводится как «одинарные сахариды».

31

Не удивляйтесь отсутствию единицы измерения. Здесь и далее приведены относительные молекулярные массы – безразмерные величины, равные отношению массы молекулы к 1/12 массы атома углерода.

32

Водородная связь (или «Н-связь») – это взаимодействие между двумя электроотрицательными атомами одной или разных молекул посредством атома водорода. Положительно заряженный протон (атом водорода), соединенный с одним электроотрицательным атомом ковалентной связью (это химическая связь, возникающая за счет образования общей пары электронов), притягивает к себе другой электроотрицательный атом. Для возникновения водородных связей в молекулах вещества должны присутствовать атомы водорода, связанные с небольшими электроотрицательными атомами, например – с атомами кислорода, азота или фтора. При этом на атомах водорода создается заметный частичный положительный заряд. Вторым условием возникновения водородных связей является наличие у электроотрицательных атомов не поделенных электронных пар, с которыми будет взаимодействовать атом водорода.

В состав сливочного масла также входят содержащиеся в молоке белки, углеводы, некоторые водорастворимые витамины, минеральные вещества и вода.

Только не пытайтесь похудеть, отказавшись от приема жидкости или же сильно его ограничив. Организм начинает получать воду из жирового запаса лишь после того, как исчерпает все прочие свои резервы, иначе говоря – при выраженном обезвоживании. А недостаток воды наносит организму огромный, порой – и непоправимый, вред.

Эти витамины не обладают каталитической активностью, т. е. не способны ускорять химические реакции, но без них ферменты не могут выполнять свои функции. Поэтому эти витамины называют не «катализаторами», а «кофакторами».

36

Клон – это организм, полученный в результате клонирования, процесса получение нескольких генетически идентичных организмов путем бесполого размножения.

Также гены содержат информацию о РНК, которые синтезируются на ДНК-матрицах, но для пущей простоты мы говорим только о белках, не поминая в каждом случае РНК.

Название этого процесса образовано от латинского слова «трансляцио», означающего «передача» или «перенесение».

39

Название этого процесса образовано от латинского слова «транскрипцио», означающего «переписывание») поскольку создание иРНК, представляет собой переписывание информации с молекулы ДНК.

Энзим – это синоним слова «фермент».

Да будет вам известно, что ряд анаболических средств входит в «Список сильнодействующих и ядовитых веществ для целей статьи 234 и других статей Уголовного кодекса РФ».

42

Все железы внутренней секреции выделяют свои секреты в кровь, потому они и называются «железами внутренней секреции». А железы, которые выделяют свои секреты наружу или в полость пищеварительного тракта, называются железами внешней секреции (потовые, молочные, слюнные и др.).

43

На латыни цинга называется «скорбу́тус». От этого слова было образовано название «аскорбиновая кислота». Приставка «а-» означает отрицание. «А-скорбиновая» – «уничтожающая цингу».

Слово «эпидемия» взято в кавычки потому что употребляется в данном контексте в переносном смысле, ведь цинга не является инфекционным заболеванием.

45

Клиническим исследованием называется научное медицинское исследование с участием людей.

46

1,14 литра.

0,25 литра.

48

Перуанский бальзам – смола, получаемая из коры бальзамного дерева и других деревьев рода Мироксилон, произрастающих в тропических лесах Америки.

49

Мирра – камедистая смола, получаемая от одноименного дерева.

50

Английская Ост-Индская компания (с 1707 года – Британская Ост-Индская компания) – акционерное общество, созданное 31 декабря 1601 года указом королевы Елизаветы Первой и получившее обширные привилегии для торговых операций в Индии. С помощью Ост-Индской компании была осуществлена британская колонизация Индии и ряда стран Востока.

51

Ложечница или ложечная трава – род растений семейства Капустные.

52

Тамаринд индийский, он же – Индийский финик – растение семейства бобовых.

53

Британское адмиралтейство – военно-морское ведомство Великобритании с 1628 по 1964 годы.

19 миллилитров.

55

НАД – сокращенное обозначение никотинамидадениндинуклеотида (кто выговорит это слово с первой же попытке – тот молодец). НАД представляет собой кофермент – небелковое вещество, соединяющееся с белковыми ферментами и выступающее в роли их активного центра. Можно сказать, что НАД превращает белковую «заготовку» в полноценный фермент. НАД присутствует во всех клетках. Роль его заключается в переносе электронов и протонов (атомов водорода) из одной биохимической реакции в другую. НАД связывает окислительно-восстановительные реакции в цепочки, в единый процесс.

56

Дрожжи, если кто не помнит, это одноклеточные грибы, приспособившиеся к обитанию в жидких и полужидких субстратах, богатых органическими веществами.

А вот растения запасают свою энергию в виде углеводов (крахмал), и только в семенах, которые должны быть компактными для рассеивания, энергия запасается в виде жира. Почему же основной формой запаса энергии у растений служит крахмал? Дело в том, что в отличие от животных, растения обладают способностью производить углеводы из неорганических веществ. Растению проще и рациональнее отложить больше крахмала, чем напрасно тратить энергию на перевод менее энергоемкого крахмала в более энергоемкий жир. Подавляющее большинство растений неподвижны и они могут позволить себе такую «роскошь», как большой вес, обусловленный углеводной формой энергетического запаса. А вот животные подвижны и от того, насколько они легки на ногу, зависит их выживаемость. Хищник должен быть быстрым, чтобы добывать себе пропитание, а жертва должна быстро от него убегать. К тому же животные не вырабатывают органические вещества «с нуля», а получают их с пищей и при наличии таких мономеров, как жирные кислоты и глицерин, им несложно и незатратно синтезировать из них жиры.

58

Кластером называют объединение нескольких однородных элементов, которое может рассматриваться как самостоятельная единица, обладающая определенными свойствами.

59

Пищевой цепью называется ряд последовательных взаимоотношений между группами организмов, при котором путем поедания одних особей другими происходит перенос вещества и энергии.

60

Давайте вспомним, что геномом называется совокупность генов, содержащихся в одинарном наборе хромосом данного организма.

В целом около 70 % растений полиплоидны.

62

Вот перечень первых десяти числовых приставок: 1 – «моно-»; 2 – «ди-» или «би-»; 3 – «три-»; 4 – «тетра-»; 5 – «пента-»; 6 – «гекса-»; 7 – «гепта-»; 8 – «окта-»; 9 – «нона-»; 10 – «дека-».

63

Серебряный карась и обыкновенный или золотой карась – это разные виды рода караси из семейства карповых.

От латинского «evolutio» – «развертывание», «развитие».

65

Индийский слон и африканский слон это не виды, как принято думать, а роды, относящиеся к семейству слоновых отряда хоботных.

66

Аристотель действительно великий ученый, а не просто «известный» или «знаменитый». Он был первым мыслителем, создавшим всестороннюю систему философии, которая охватывала все существовавшие на то время науки.

67

В современной биологии «таксон» служит общим названием группы в классификации. Царство, род, вид – все это таксоны.

68

Термин «эволюция» (от латинского слова «эволютио» – «развертывание») был введен в науку в XVIII веке швейцарским зоологом Шарлем Бонне для обозначения необратимого процесса исторического изменения живых существ и их сообществ.

Но помнит мир ученый, что приспособительные модификации тоже могут передаваться по наследству. Однако подобное наследование не является основным и потому в данном случае о нем нет необходимости упоминать.

70

Зоотехнией называется наука о разведении, кормлении, содержании и правильном использовании сельскохозяйственных (и домашних) животных.

71

«Мы имеем основание думать, что первоначальные привычки долго удерживаются в домашнем состоянии, – писал Дарвин. – Так, у обыкновенного осла мы видим следы его первоначального пустынного образа жизни в той неохоте, с какою он переправляется через самый маленький ручеек, и в том удовольствии, с каким он катается в пыли. Такое же сильное отвращение к переправе через ручьи свойственно верблюду, который одомашнен с очень древних времен. Поросята, хотя совершенно ручные, при испуге иногда прижимаются к земле, стараясь спрятаться таким образом даже на открытом и голом месте. Индюшата, а иногда даже цыплята, когда наседка издает предостерегающий крик, разбегаются и прячутся, как птенцы куропатки или фазана, чтобы дать возможность матери улететь, хотя она утратила способность летать… Мы знаем, что собака, как бы хорошо и правильно ни кормили ее, часто закапывает излишнюю пищу, как лисица; мы видим, как собака на ковре несколько раз повертывается кругом, словно желая примять траву и устроить себе логово; мы видим, как она на голой мостовой скребет ногами назад, как бы желая засыпать землей свои испражнения, хотя, мне кажется, это не удается даже на рыхлой земле. В том, с каким удовольствием молодые ягнята и козлята собираются и резвятся на самом маленьком холмике, мы имеем перед собою след их прежнего горного образа жизни». (Чарльз Дарвин, «Изменение животных и растений в домашнем состоянии». Перевод П.П. Сушкина и Ф.Н. Крашенинникова под редакцией К.А. Тимирязева, вновь пересмотренный Ф.Н. Крашенинниковым и С.Н. Боголюбским)

72

«Не изолированных репродуктивно» означает возможность получения плодовитого потомства при скрещивании между особями из разных подвидов или популяций.

73

Если вы захотите поискать материалы по данной теме на английском языке, то в поисковике нужно будет набрать «Red Queen hypothesis», а не «Black Queen hypothesis». Дело в том, что в XIX веке противники белых фигур в Британии окрашивались не в черный, а в красный цвет и в произведении Льюиса Кэрролла, откуда вышло название этой гипотезы фигурирует Красная королева.

В подобных случаях делается ставка на повышение вероятности успешного размножения, а не на выживаемость самцов.

Впрочем, бделлоидные коловратки могут обеспечивать себе повышенное генетическое разнообразие весьма оригинальным способом. Они являются единственными из всех животных, в геноме которых содержится множество чужих генов. Предполагается, что они получают эти гены от водорослей, бактерий, грибов, и других коловраток. Чужеродная ДНК относительно легко проникает в клетки коловраток и происходит встраивание чужих фрагментов в их собственную ДНК.

«Каждый вид ведет игру против другого вида, и это игра с нулевым результатом, – писал Ли ван Вален. – Более того, в ней нет победителя, а место проигравшего с ухмылкой занимает новый соперник».

77

«Едва ли можно поставить более сложную задачу, но, придерживаясь нашего взгляда, нам нужно только предположить, что в некоторых клетках в конце концов происходят структурные изменения и что эти клетки отделяют от себя геммулы, изменённые сходным образом». (Чарльз Дарвин, «Изменение животных и растений в домашнем состоянии». Глава 27, «Временная гипотеза – пангенезис»).

Скорее всего, но не обязательно (объяснение будет дальше).

79

Три закона Менделя существуют только в отечественной научной литературе. За рубежом наш первый закон стоит особняком, наш второй закон называется первым законом Менделя, а наш третий – вторым. Имейте в виду, если станете читать зарубежную литературу по генетике. Дело в том, что первый из законов открыт не Грегором Менделем, но носит у нас его имя, поскольку основан на результатах экспериментов Менделя.

80

Слово «возвращение» подошло бы лучше, поскольку рецессивный признак именно возвращается.

81

Слово «обычно» здесь совершенно не лишнее – вспомните про такое явление, как кроссинговер.

82

Общее количество вариантов полигибридного скрещивания определяется формулой $(3 + 1)^n$, где n – число признаков, вовлеченных в скрещивание.

83

Этот ген расположен в 4-ой хромосоме.

Этот ген расположен в 19-ой хромосоме.

Так называемые пиРНК.

86

Азотистые основания аденин (A), гуанин (G) и цитозин (C) которые входят в состав как ДНК, так и РНК. Тимин (T) встречается только в ДНК, а урацил (U) – только в РНК.

87

Древние греки верили, что семя из правого яичка порождает мальчиков, а семя из левого яичка – девочек. Желающие обеспечить рождения наследника мужского пола иногда шли на удаление левого яичка. Этот предрассудок благополучно просуществовал до XVIII века!

88

Количество половых хромосом в гамете будет больше двух (три или четыре) в том случае, если нерасхождение имело место на обоих этапах мейоза.

89

Симптомы, синдромы и болезни в медицине называются по именам врачей, впервые их описавших. Они никогда не называются в честь пациентов или каких-то известных лиц. Если вы слышите «синдром Клайнфельтера», то знайте, что его впервые описал врач по фамилии Клайнфельтер. Если фамилий две (например – болезнь Иценко-Кушинга) то это означает, что данное явление примерно в одно и то же время описали два разных человека, поделивших славу «первопроходца» на двоих.

90

Репрезентативность – соответствие результатов эксперимента, проведенного с участием некоторого количества особей, характеристикам всей популяции или генеральной совокупности в целом.

91

На самом деле хвост у павлина небольшой, принято называть «хвостом» очень сильно развитые верхние кроющие перья.

92

В старых переводах вместо слова «отбор» употребляется «подбор».

93

В качестве примера гандикапа часто приводят большие рога самцов оленей и лосей. Но это – неверный пример. Рога помогают оленям и лосям побеждать других самцов в борьбе за самку, а там, где есть такая борьба, гандикапа быть не может.

Дорогостоящая реклама – это тоже своего рода «гандикап», который демонстрирует не столько качество рекламируемого товара, сколько состоятельность рекламодателя.

C’est la vie (*франц.*) – такова жизнь.

96

Если что, то это была шутка, носящая немного провокационный характер. Без шуток нам никак нельзя обойтись, еще Конфуций говорил: «Не пошутишь – и не весело». Однако, шутка – ложь, да в ней намек, добрым молодцам урок… Не без этого.

Качественными признаками называются признаки отчетливо проявляются в фенотипе и довольно легко отличаются от альтернативных. Пример – гладкость или морщинистость семян гороха. Признаки, которые выражены менее отчетливо, принято называть количественными, т. к. их приходится изучать путем измерений или подсчетов в популяции. Пример – жирность молока у коровы.

98

Перекрестное опыление – это тип опыления у растений, при котором пыльца от тычинки (мужского репродуктивного органа) одного цветка переносится на рыльце пестика (женского репродуктивного органа) цветка другого растения этого же вида.

99

Экстерьером называется внешний вид и телосложение животного.